



TUGAS AKHIR-RC14-1501

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG TOWER C APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY JAKARTA SELATAN DENGAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST)

HABIB SYAIFUDDIN
NRP. 3112 100 039

Dosen Pembimbing I:
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II:
Aniendhita Rizki Amalia, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT-RC14-1501

PLANNING MODIFICATION OF ASPEN ADMIRALTY APARTMENT SOUTH JAK**ARTA'S** TOWER C BUILDING USING PRECAST METHOD

HABIB SYAIFUDDIN
NRP 3112 100 039

Advisor I:
Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

Advisor II:
Aniendhita Rizki Amalia, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY JAKARTA
SELATAN DENGAN METODE BETON PRACETAK
(PRECAST)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HABIB SYAIFUDDIN

NRP. 3112 100 039

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Endah Wahyuni, ST, MSc, PhD. (Pembimbing I)

2. Aniendhita Rizki Amalia, ST, MT. (Pembimbing II)

**SURABAYA
JULI, 2016**

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG TOWER C APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY JAKARTA SELATAN DENGAN METODE BETON PRACETAK (*PRECAST*)

Nama : Habib Syaifuddin
NRP : 3112 100 039
Jurusan : S1 Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing I : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Aniendhita Rizki Amalia, S.T., M.T.

ABSTRAK

Metode beton pracetak (*precast*) adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*fabrication*) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (*installation*). Pemakaian metode beton pracetak (*precast*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode konvensional. Kelebihan tersebut meliputi waktu pengerjaan yang relatif singkat, proses produksinya tidak tergantung cuaca, tidak memerlukan tempat penyimpanan material yang luas, kontrol kualitas beton lebih terjamin, hemat akan bekisting dan penopang bekisting, serta kemudahan dalam pelaksanaannya sehingga dapat mereduksi durasi proyek dan secara otomatis biaya yang dikeluarkan menjadi lebih kecil.

Struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan pada kondisi sebenarnya menggunakan metode cor setempat dan memiliki tinggi 23 lantai dan basement 2 lantai. Gedung ini telah dirancang dengan tinggi 15 lantai dengan menggunakan metode beton pracetak. Elemen pracetak hanya balok dan pelat, sedangkan pada elemen kolom, dinding geser, tangga, lift, dan pondasi direncanakan menggunakan metode cor ditempat. Gedung ini dirancang menggunakan Sistem Ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dan dinding geser beton bertulang khusus yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.

Hasil dari modifikasi gedung tower C apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan ini meliputi ukuran balok induk 50/70, ukuran balok anak 30/50, dan ukuran kolom 70x70 cm. Modifikasi gedung ini juga menggunakan shear wall yang juga difungsikan sebagai dinding lift. Sambungan antar elemen pracetak menggunakan sambungan basah dan konsol pendek.

Kata Kunci : Aspen Admiralty, Sistem Ganda, Beton Pracetak, Dinding Geser.

PLANNING MODIFICATION OF ASPEN ADMIRALTY APARTMENT SOUTH JAKARTA'S TOWER C BUILDING USING PRECAST METHOD

Name : Habib Syaifuddin
NRP : 3112 100 039
Department : S1 Teknik Sipil FTSP-ITS
Advisor I : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.
Advisor II : Aniendhita Rizki Amalia, S.T., M.T.

ABSTRACT

Precast method is concrete construction technology using components which casted first at fabrication and then casted in project location (installation). This method has several advantages than conventional method. Those advantages encompass brief processing time, the production process not depending at weather, unnecessary too much space of material storage, guaranteed quality control of the concrete, scanty amount of formwork, and the least but not least, the ease of implementation can reduce the project duration and also the project cost that needed is smaller.

Aspen Admiralty Apartment South Jakarta's Tower C building structure in real condition used in situ concrete pouring method and it has 23 floors and 2 floors of basement. The Apartment was planned with 15 floors using precast method. The precast elements only beams and slabs, whereas in column elements, shear wall, stair, lift and footing elements were planned with in situ cast. This building was planned using Dual System with secondary moment bearer frame that could afford at least 25% earthquake force and particular reinforcement concrete shear wall that bearing 75% earthquake force that settled.

The modification result of Aspen Admiralty Apartment South Jakarta's Tower C encompass 50/70 primary beam dimension, 30/50 secondary beam dimension, and 70x70 cm column dimension. This building modification also using shear

wall that functioned as lift wall. Connector between precast elements using wet connection and bracket.

Keywords : Aspen Admiralty, Dual System, Precast Concrete, Shear Wall.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Sistem Struktur Gedung.....	5
2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen.....	5
2.2.2 Dinding Geser.....	6
2.2.3 Sistem Ganda.....	8
2.3 Tinjauan Elemen Pracetak	8
2.3.1 Pelat.....	8

2.3.2	Balok	10
2.3.3	Kolom.....	11
2.4	Perencanaan Sambungan	11
2.4.1	Sambungan Dengan Cor Setempat.....	12
2.4.2	Sambungan Las.....	13
2.4.3	Sambungan Baut.....	14
2.5	Titik-Titik Angkat dan Sokongan	15
2.5.1	Pengangkatan Pelat Pracetak	15
2.5.2	Pengangkatan Balok Pracetak.....	17
2.6	Tinjauan Elemen Pracetak	19
2.6.1	Fase-Fase Penanganan Produk Pracetak	19
BAB III		21
METODOLOGI		21
3.1	Data Perencanaan	22
3.2	Penentuan Kriteria Desain	23
3.3	Preliminary Design	25
3.3.1	Perencanaan Dimensi Kolom	25
3.3.2	Perencanaan Dimensi Balok Induk	25
3.4	Perhitungan Struktur Sekunder	26
3.4.1	Penentuan Dimensi Pelat	26
3.4.2	Kontrol retak.....	28
3.4.3	Perencanaan Balok Anak	28
3.4.4	Perencanaan Tangga	28
3.4.5	Perencanaan Lift	29
3.5	Pembebanan.....	29

3.5.1	Beban Statis	30
3.5.2	Beban Gempa	31
3.5.3	Kombinasi Pembebanan	33
3.6	Permodelan dan Analisa Struktur	33
3.7	Perhitungan Struktur Utama	34
3.7.1	Perencanaan Balok Induk	34
3.7.2	Perencanaan Kolom	37
3.7.3	Persyaratan “Strong Column Weak Beams”	37
3.7.4	Perencanaan Struktur Dinding Geser	38
3.8	Perencanaan Sambungan	39
3.8.1	Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom	40
3.8.2	Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak	42
3.8.3	Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak	43
3.9	Perencanaan Pondasi	44
3.9.1	Kebutuhan Tiang Pancang	45
3.9.2	Perencanaan Terhadap Geser	46
3.10	Penggambaran Hasil Perhitungan	46
BAB IV	47
PEMBAHASAN	47
4.1	Preliminary Desain	47
4.1.1	Umum	47
4.1.2	Data Perencanaan	47
4.1.3	Pembebanan	48

4.1.4	Perencanaan Dimensi Balok	48
4.1.5	Perencanaan Tebal Pelat	51
4.1.6	Perencanaan Dimensi Kolom.....	61
4.1.7	Perencanaan Tebal Dinding Geser	63
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder	63
4.2.1	Perencanaan Pelat	63
4.2.2	Perencanaan Balok Anak Pracetak.....	83
4.2.3	Perencanaan Tangga	100
4.2.4	Perencanaan Balok Lift.....	115
4.3	Pemodelan Struktur	124
4.3.1	Umum.....	124
4.3.2	Data-Data Perencanaan.....	125
4.3.3	Perhitungan Berat Struktur	126
4.3.4	Kombinasi Pembebanan	127
4.3.5	Analisa Beban Gempa	127
4.3.6	Pembebanan Gempa Dinamis	132
4.3.7	Kontrol Desain.....	133
4.4	Perencanaan Struktur Utama	145
4.4.1	Umum.....	145
4.4.2	Perencanaan Balok Induk	145
4.4.3	Perencanaan Kolom	174
4.4.4	Perencanaan Dinding Geser	183
4.5	Perencanaan Sambungan	191
4.5.1	Umum.....	191
4.5.2	Konsep Desain Sambungan	192

4.5.3	Penggunaan Topping Beton	196
4.5.4	Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom	197
4.5.5	Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak.....	204
4.5.6	Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok	209
4.6	Perencanaan Pondasi	212
4.6.1	Umum.....	212
4.6.2	Data Tanah	212
4.6.3	Kriteria Design	213
4.6.4	Daya Dukung.....	213
4.6.5	Perhitungan Tiang Pancang	216
4.6.6	Perencanaan Poer Satu Kolom.....	222
4.6.7	Perencanaan Poer Dua Kolom	229
4.6.8	Perencanaan Balok Sloof Interior	237
4.7	Metode Pelaksanaan	241
4.7.1	Umum.....	241
4.7.2	Pengangkatan dan Penempatan Crane	242
4.7.3	Pekerjaan Elemen Kolom	243
4.7.4	Pemasangan Elemen Balok Induk.....	244
4.7.5	Pemasangan Elemen Balok Anak	244
4.7.6	Pemasangan Elemen Pelat	245
4.7.7	Transportasi Elemen Beton Pracetak	246
BAB V	247
KESIMPULAN DAN SARAN	247
5.1	Kesimpulan.....	247
5.2	Saran.....	248

DAFTAR PUSTAKA..... 249

LAMPIRAN..... 251

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan metode penyambungan	12
Tabel 2. 2 Angka pengali beban statis ekuivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis.....	19
Tabel 3. 1 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	24
Tabel 3. 2 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	24
Tabel 3. 3 Beban mati pada struktur	30
Tabel 3. 4 Beban hidup pada struktur	31
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk	50
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak	51
Tabel 4. 3 Tulangan Terpasang pada Pelat	82
Tabel 4. 4 Tulangan Terpasang Pada Balok Anak	99
Tabel 4. 5 Spesifikasi C300 Passenger Elevator	116
Tabel 4. 6 Koefisien Situs Fa.....	129
Tabel 4. 7 Koefisien Situs Fv.....	129
Tabel 4. 8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	131
Tabel 4. 9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	131
Tabel 4. 10 Modal rasio partisipasi massa	133
Tabel 4. 11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	134
Tabel 4. 12 Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung	135
Tabel 4. 13 Modal Periode dan Frekuensi Struktur	135
Tabel 4. 14 Reaksi Dasar Struktur	136
Tabel 4. 15 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa	137
Tabel 4. 16 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala	138
Tabel 4. 17 Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi Akibat Beban	140
Tabel 4. 18 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X.....	141

Tabel 4. 19 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X.....	141
Tabel 4. 20 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y.....	143
Tabel 4. 21 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah	144
Tabel 4. 22 Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur	145
Tabel 4. 23 Nilai Mpr balok induk interior	162
Tabel 4. 24 Penulangan Lapangan Balok Induk.....	173
Tabel 4. 25 Penulangan Tumpuan Balok Induk	174
Tabel 4. 26 Gaya dalam kolom.....	175
Tabel 4. 27 Output gaya dalam dinding geser (SAP2000)	184
Tabel 4. 28 Daya dukung tiang pancang tunggal	217

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pelat pracetak berlubang (<i>Hollow Core Slab</i>)	9
Gambar 2. 2 Pelat pracetak tanpa lubang (<i>Solid Slab</i>)	9
Gambar 2. 3 Pelat pracetak <i>Double Tee</i>	10
Gambar 2. 4 Balok berpenampang persegi (<i>Rectangular Beam</i>)	10
Gambar 2. 5 Balok berpenampang L (<i>Ledger Beam</i>).....	10
Gambar 2. 6 Balok T terbalik (<i>Inverted Tee Beam</i>)	11
Gambar 2. 7 Sambungan dengan cor setempat	13
Gambar 2. 8 Sambungan dengan las	14
Gambar 2. 9 Sambungan dengan menggunakan baut.....	15
Gambar 2. 10 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	16
Gambar 2. 11 Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat).....	17
Gambar 2. 12 Pengangkatan balok pracetak.....	17
Gambar 2. 13 Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan	18
Gambar 2. 14 Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok.....	18
Gambar 3. 1 Diagram alir metode penyelesaian tugas akhir	22
Gambar 3. 2 Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur	27
Gambar 3. 3 Ilustrasi kuat momen yang bertemu di HBK	38
Gambar 3. 4 Sambungan balok dengan kolom.....	40
Gambar 3. 5 Parameter geometri konsol pendek.....	41
Gambar 3. 6 Hubungan Balok Kolom.....	42
Gambar 3. 7 Sambungan Antara Balok dengan Pelat	43
Gambar 3. 8 Sambungan balok induk dengan balok anak.....	44
Gambar 3. 9 Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang	45
Gambar 4. 1 Denah pembalokan.....	49
Gambar 4. 2 Pelat tipe B (320 cm x 905 cm)	67
Gambar 4. 3 Potongan pelat.....	67
Gambar 4. 4 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	71
Gambar 4. 5 Diagram gaya geser horizontal penampang komposit.....	76

Gambar 4. 6	Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	78
Gambar 4. 7	Momen pengangkatan pelat arah i.....	79
Gambar 4. 8	Momen pengangkatan pelat arah j.....	79
Gambar 4. 9	(a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit.....	83
Gambar 4. 10	Distribusi Beban pada Balok Anak 30/50.....	84
Gambar 4. 11	Momen saat pengangkatan balok anak	95
Gambar 4. 12	Letak titik pengangkatan	96
Gambar 4. 13	Perencanaan tangga tampak atas	101
Gambar 4. 14	Potongan tangga	102
Gambar 4. 15	Sketsa beban pada tangga.....	103
Gambar 4. 16	Free body diagram gaya-gaya pada tangga.....	105
Gambar 4. 17	Bidang lintang (D) pada tangga.....	106
Gambar 4. 18	Bidang normal (N) pada tangga.....	106
Gambar 4. 19	Bidang momen (M) pada tangga	107
Gambar 4. 20	Denah Lift	116
Gambar 4. 21	Permodelan 3D Struktur Utama	125
Gambar 4. 22	Peta untuk menentukan harga S_s	128
Gambar 4. 23	Peta untuk menentukan harga S_1	128
Gambar 4. 24	Grafik Respon Spectrum Daerah Surabaya	130
Gambar 4. 25	Detail pembalokan.....	147
Gambar 4. 26	Pembebanan balok induk sebelum komposit	149
Gambar 4. 27	Pembebanan balok induk sebelum komposit	151
Gambar 4. 28	Denah pembalokan	154
Gambar 4. 29	Letak titik pengangkatan	171
Gambar 4. 30	Diagram interaksi aksial vs momen kolom.....	176
Gambar 4. 31	Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK ..	177
Gambar 4. 32	Denah penempatan shearwall	183
Gambar 4. 33	Panjang Tumpuan pada Tumpuan	192
Gambar 4. 34	Mekanisme Pemindahan Beban.....	193
Gambar 4. 35	Model keruntuhan	195
Gambar 4. 36	Model sambungan balok pada konsol kolom....	195
Gambar 4. 37	Geometrik konsol pendek.....	197
Gambar 4. 38	Detail batang tulangan dengan kait standar	203

Gambar 4. 39	Panjang Penyaluran Balok Induk	204
Gambar 4. 40	Detail batang tulangan dengan kait standar	208
Gambar 4. 41	Panjang Penyaluran Balok Anak	209
Gambar 4. 42	Panjang Penyaluran Pelat	210
Gambar 4. 43	<i>Prestressed Concrete Spun Pile</i>	213
Gambar 4. 44	Konfigurasi rencana tiang pancang	220
Gambar 4. 45	Konfigurasi Poer dengan Dua Kolom.....	230
Gambar 4. 46	Sloof yang ditinjau	238
Gambar 4. 47	Diagram Interaksi Balok Sloof 50/70	240
Gambar 4. 48	Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom	243
Gambar 4. 49	Pemasangan Balok Induk Pracetak.....	244
Gambar 4. 50	Pemasangan Balok Anak Pracetak	244
Gambar 4. 51	Pemasangan Tulangan Atas.....	245

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi di Indonesia mendorong adanya inovasi dalam berbagai metode konstruksi pada bidang ketekniksipilan. Inovasi tersebut tidak hanya dalam segi kekuatan dan kestabilan struktur, namun juga harus memperhatikan segi ekonomis, praktis, dan ketepatan waktu. Seperti halnya pemakaian metode beton pracetak (*precast*) dalam perencanaan struktur suatu gedung yang merupakan salah satu alternatif untuk mencapai hal tersebut.

Metode beton pracetak (*precast*) adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*fabrication*) dan selanjutnya dipasang di lokasi proyek (*installation*). Pemakaian metode beton pracetak (*precast*) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode konvensional. Kelebihan tersebut meliputi waktu pengerjaan yang relatif singkat, proses produksinya tidak tergantung cuaca, tidak memerlukan tempat penyimpanan material yang luas, kontrol kualitas beton lebih terjamin, hemat akan bekisting dan penopang bekisting, serta kemudahan dalam pelaksanaannya sehingga dapat mereduksi durasi proyek dan secara otomatis biaya yang dikeluarkan menjadi lebih kecil.

Pemakaian metode beton pracetak (*precast*) lebih tepat dan efisien apabila diterapkan pada kondisi tertentu, yaitu pada bangunan gedung yang memiliki bentuk yang sama di tiap lantai (tipikal) sehingga lebih mudah dalam pengerjaan dan pelaksanaannya. Selain itu metode beton pracetak (*precast*) juga digunakan pada bangunan yang berada di wilayah zona gempa rendah atau menengah. Hal ini dikarenakan sambungan struktur yang menggunakan beton pracetak (*precast*) belum dapat dijamin benar-benar kaku untuk menahan gaya gempa tinggi.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi perencanaan gedung tower C apartemen Aspen Admiralty yang awalnya

memakai metode konvensional menjadi metode beton pracetak (*precast*). Gedung tower C apartemen Aspen Admiralty akan direncanakan menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah. Dengan demikian beban lateral 25% dipikul oleh rangka dan 75% dipikul oleh dinding geser.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan Utama:

Bagaimana merencanakan struktur bangunan dengan beton pracetak yang mampu menahan gaya gravitasi dan gaya lateral yang bekerja?

Detail Permasalahan:

1. Bagaimana merencanakan elemen beton pracetak (balok dan pelat) termasuk dalam hal pengangkatan dan pemasangan elemen beton pracetak?
2. Bagaimana merencanakan elemen beton bertulang konvensional (kolom dan dinding geser)?
3. Bagaimana merencanakan sambungan antar elemen beton pracetak dan beton bertulang konvensional?
4. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan ke dalam gambar rencana struktur?

1.3 Tujuan

Tujuan Utama:

Merencanakan struktur bangunan dengan beton pracetak yang mampu menahan gaya gravitasi dan gaya lateral yang bekerja

Detail Tujuan:

1. Dapat merencanakan elemen beton pracetak (balok dan pelat) termasuk dalam hal pengangkatan dan pemasangan elemen beton pracetak.
2. Dapat merencanakan elemen beton bertulang konvensional (kolom dan dinding geser)

3. Dapat merencanakan sambungan antar elemen beton pracetak dan beton bertulang konvensional.
4. Dapat menuangkan hasil perencanaan ke dalam gambar rencana struktur.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan – batasan masalah yang diberikan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Beton pracetak yang digunakan adalah beton pracetak biasa (non prestress).
2. Komponen struktur yang direncanakan menggunakan beton pracetak hanya pelat dan balok.
3. Perencanaan kolom dan dinding geser menggunakan beton bertulang konvensional.
4. Hanya memperhitungkan segi kekuatan struktur tanpa memperhitungkan aspek-aspek manajemen konstruksi dan arsitektural.
5. Perencanaan tidak termasuk sistem utilitas, kelistrikan dan sanitasi.
6. Gedung tower C apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan direncanakan akan dibangun dengan tinggi 15 lantai.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari perencanaan struktur gedung menggunakan beton pracetak adalah:

1. Manfaat untuk masyarakat/pembaca:
Pembaca dapat mengetahui alternatif lain tata cara perencanaan gedung menggunakan beton pracetak yang mempunyai banyak kelebihan dibandingkan menggunakan beton konvensional.
2. Manfaat untuk penulis:
Penulis dapat lebih memahami tentang tata cara perencanaan struktur bangunan gedung menggunakan metode beton pracetak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Umum

Sistem fabrikasi dalam pembuatan struktur beton bertulang dikenal dengan sistem pracetak. Definisi beton pracetak menurut SNI-2847-2013 adalah elemen struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Pada dasarnya beton pracetak tidaklah berbeda dengan beton biasa. Yang membedakan hanyalah pada metode fabrikasinya.

Sebagian besar dari elemen struktur pracetak diproduksi di tempat tertentu (fabrikasi) dilanjutkan dengan proses pengangkatan beton pracetak ke lokasi (transportasi). Komponen-komponen tersebut dipasang sesuai keberadaannya sebagai komponen struktur dari sistem struktur beton (ereksi).

3.2 Sistem Struktur Gedung

Ada beberapa sistem struktur yang biasa digunakan sebagai penahan gaya gempa pada gedung akan tetapi pada sub bab ini hanya dijelaskan yang berkaitan dengan topik penulis ambil antara lain:

3.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

2.2.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Membangun di wilayah resiko gempa tinggi, yang masuk wilayah gempa 5 dan 6, dan untuk memikul gaya-gaya akibat gempa harus menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) atau sistem dinding struktur khusus (SDSK) atau sistem dual khusus. (Purwono, 2005)

Menurut SNI-1726-2012 pasal 3.53, tentang perencanaan bangunan terhadap gempa menyebutkan bahwa SRPMK merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur.

Persyaratan-persyaratan fundamental untuk SRPMK yang daktail adalah:

1. Sedapatnya menjaga keteraturan struktur
2. Cukup kuat menahan gempa normative yang ditentukan berdasarkan kemampuan disipasi energi.
3. Cukup kaku untuk membatasi penyimpangan.
4. Hubungan balok kolom cukup kuat menahan rotasi yang terjadi
5. Komponen-komponen balok dan kolom mampu membentuk sendi plastis tanpa mengurangi kekuatannya yang berarti
6. Balok-balok mendahului terbentuknya sendi-sendi plastis yang tersebar diseluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom
7. Tidak ada kolom yang lebih lemah yang akan menyebabkan sendi-sendi plastis di ujung atas dan bawah pada kolom-kolom lain ditingkat itu yang menjurus pada keruntuhan seluruh struktur.

Konsep “*strong column weak beam*” dalam sitem rangka pemikul momen khusus mengandung arti bahwa konstruksi kolom yang ada harus lebih kaku dari pada balok, sehingga kerusakan struktur ketika terjadi beban lateral/gempa, terlebih dahulu terjadi pada balok, lalu kerusakan struktur terjadi pada kolom. Dengan kata lain, balok-balok mendahului pembentukan sendi-sendi plastis yang tersebar di seluruh sistem struktur sebelum terjadi di kolom-kolom.

3.2.2 Dinding Geser

Dinding geser adalah jenis struktur dinding yang berbentuk beton bertulang yang biasanya dirancang untuk menahan geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dengan adanya dinding geser yang

kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut.

Berdasarkan letak dan fungsinya, shear wall / dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu:

1. Bearing walls adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. Frame walls adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
3. Core walls adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung, yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak di kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan ekonomis.

Fungsi shear wall / dinding geser ada 2, yaitu kekuatan dan kekakuan, artinya:

1. Kekuatan
 - Dinding geser harus memberikan kekuatan lateral yang diperlukan untuk melawan kekuatan gempa horizontal.
 - Ketika dinding geser cukup kuat, mereka akan mentransfer gaya horizontal ini ke elemen berikutnya dalam jalur beban di bawah mereka, seperti dinding geser lainnya, lantai, pondasi dinding, lembaran atau footings.
2. Kekakuan
 - Dinding geser juga memberikan kekakuan lateral untuk mencegah
 - atap atau lantai di atas dari sisi - goyangan yang berlebihan.
 - Ketika dinding geser cukup kaku, mereka akan mencegah membingkai
 - lantai dan atap anggota dari bergerak dari mendukung mereka.
 - Juga, bangunan yang cukup kaku biasanya akan menderita kerusakan kurang nonstruktural

3.2.3 Sistem Ganda

Sistem ganda adalah sistem struktur yang terdiri dari rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi. Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral. Kedua sistem ini harus direncanakan untuk memikul seluruh beban lateral dengan memperhatikan siteraksi sistem struktur.

3.3 Tinjauan Elemen Pracetak

Seerti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, pembuatan beton pracetak dilakukan di lokasi proyek ataupun di luar lokasi proyek seperti pabrik. Untuk itu, agar elemen pracetak yang dibuat sesuai dengan yang direncanakan dan tidak mengalami kesulitan dalam proses fabrikasi, hendaknya perencana mengetahui macam-macam elemen struktur beton pracetak yang umum digunakan dan diproduksi saat ini.

3.3.1 Pelat

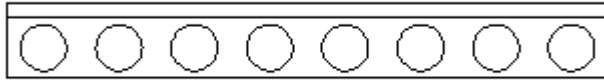
Pelat merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut (Kalingga, 2015). Pada waktu pengangkutan pelat beton pracetak atau sebelum komposit, beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total yang diterima oleh pelat terjadi pada saat pelat sudah komposit.

Dalam *PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada tiga macam pelat pracetak (*precast slab*) yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, antara lain:

1) Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

Pelat ini merupakan pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tanpa lubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat

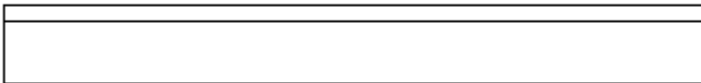
jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 4 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 16 inchi.



Gambar 2. 1 Pelat pracetak berlubang (*Hollow Core Slab*)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

2) Pelat Pracetak tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

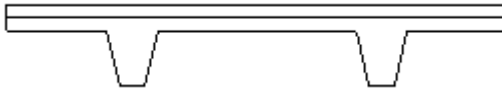
Adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan lebar rata-rata 4 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 8 inchi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 10 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang.



Gambar 2. 2 Pelat pracetak tanpa lubang (*Solid Slab*)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

3) Pelat Pracetak *Double Tee*

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada pelat ini ada bagian berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung.



Gambar 2. 3 Pelat pracetak *Double Tee*

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

3.3.2 Balok

Untuk balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan, yaitu:

1) Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)

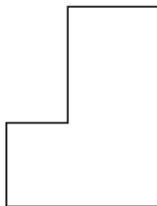
Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan.



Gambar 2. 4 Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

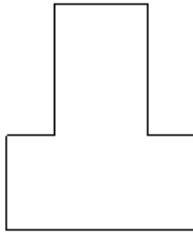
2) Balok berpenampang L (*Ledger Beam*)



Gambar 2. 5 Balok berpenampang L (*Ledger Beam*)

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

3) Balok berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*)



Gambar 2. 6 Balok T terbalik (*Inverted Tee Beam*)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

3.3.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Dalam perencanaan tugas akhir ini tidak mengaplikasikan kolom pracetak namun menggunakan kolom cor di tempat (metode konvensional) yang menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang memiliki tulangan pokok memanjang (tulangan longitudinal), yang pada jarak tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral (tulangan transversal). Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.

3.4 Perencanaan Sambungan

Proses penyatuan komponen-komponen struktur beton pracetak menjadi sebuah struktur bangunan yang monolit merupakan hal yang penting dalam pengaplikasian teknologi beton pracetak. Oleh karena itu, perencanaan sambungan harus

diperhatikan dengan seksama sehingga tidak menyulitkan pada saat pelaksanaan.

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat 3 (tiga) macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut antara lain, sambungan dengan cor di tempat (*in situ concrete joint*), sambungan dengan menggunakan las dan sambungan dengan menggunakan baut. Masing-masing dari jenis sambungan tersebut memiliki karakteristik serta kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri yang disajikan dalam tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2. 1 Perbedaan metode penyambungan

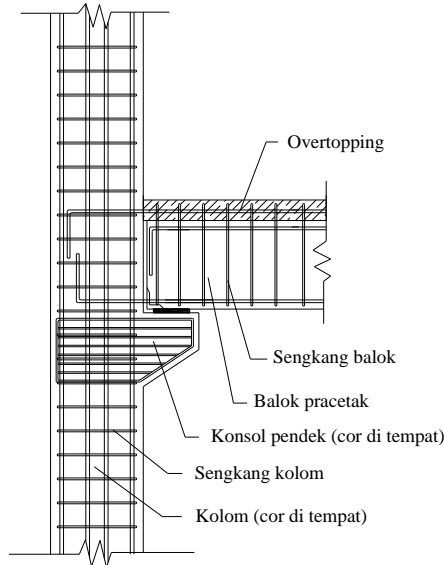
Deskripsi	Sambungan dengan cor setempat	Sambungan dengan las/baut
Kebutuhan struktur	Monolit	Tidak monolit
Jenis sambungan	Basah	Kering
Toleransi dimensi	Lebih tinggi	Tergolong rendah, karena dibutuhkan akurasi yang tinggi
Kebutuhan waktu agar berfungsi secara efektif	Perlu setting time	Segera dapat berfungsi
Ketinggian bangunan	-	Maksimal 25 meter

(Sumber: Ervianto, 2006)

3.4.1 Sambungan Dengan Cor Setempat

Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan dicor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah. Sambungan jenis ini sering

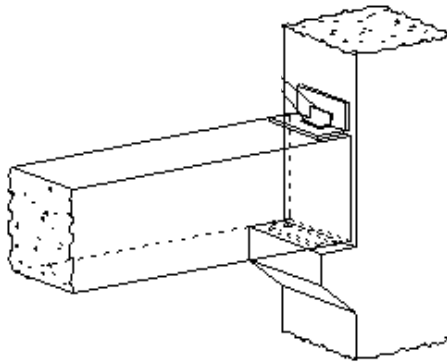
diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Dalam modifikasi ini akan direncanakan menggunakan sambungan cor setempat.



Gambar 2. 7 Sambungan dengan cor setempat
(Sumber: Kalingga, 2015)

3.4.2 Sambungan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan plat baja yang ditanam dalam beton pracetak yang akan disambung. Kedua pelat ini selanjutnya disambung atau disatukan dengan bantuan las seperti gambar 2.8. Melalui pelat baja inilah gaya-gaya yang akan diteruskan ke komponen yang terkait. Setelah pekerjaan pengelasan, dilanjutkan dengan menutup pelat sambung tersebut dengan adukan beton yang bertujuan untuk melindungi pelat dari korosi.

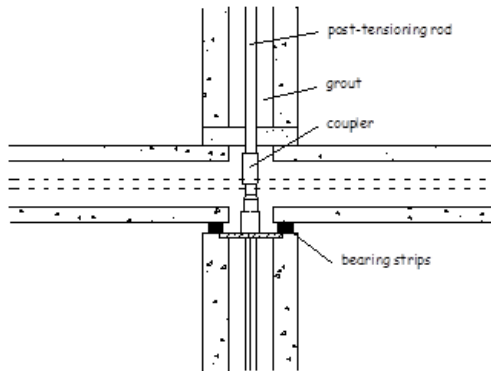


Gambar 2. 8 Sambungan dengan las
(Sumber: Kalingga, 2015)

Umumnya, pada pertemuan balok dan kolom, ujung balok didukung oleh corbels atau biasa disebut dengan konsol yang menjadi satu dengan kolom. Penyatuan antara dua komponen tersebut menggunakan las yang dilaksanakan pada pelat baja yang tertanam dengan balok dengan pelat baja yang telah disiapkan pada sisi kolom.

3.4.3 Sambungan Baut

Penyambungan cara ini diperlukan pelat baja di kedua elemen betok pracetak yang akan disatukan. Kedua komponen tersebut disatukan melalui pelat tersebut dengan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi. Selanjutnya pelat sambung tersebut dicor dengan adukan beton, guna melindungi dari korosi.



Gambar 2. 9 Sambungan dengan menggunakan baut
(Sumber: Kalingga, 2015)

3.5 Titik-Titik Angkat dan Sokongan

3.5.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Pemasangan pelat pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

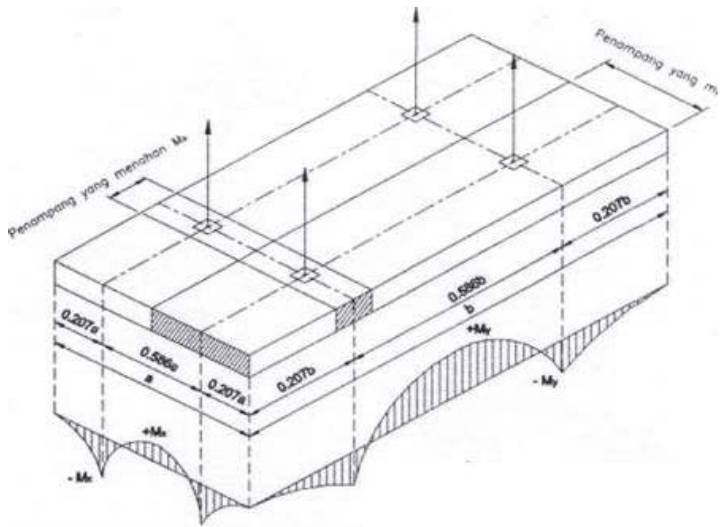
a. Empat Titik Angkat

Maksimum Momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_y = 0,0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0107 w a b^2$$

- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dari $15t$ atau $b/2$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



Gambar 2. 10 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

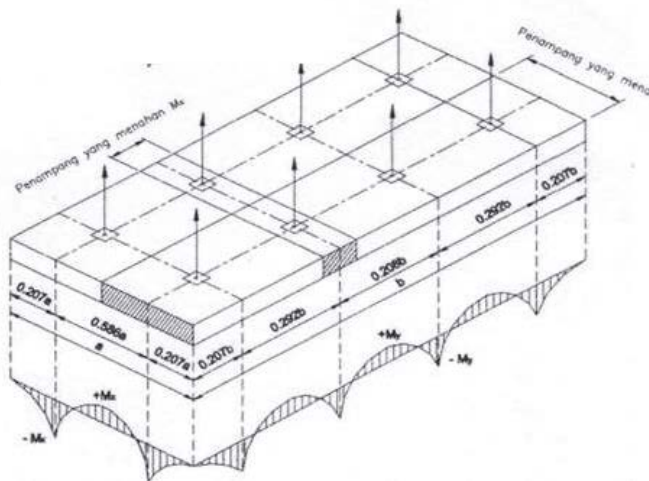
b. Delapan Titik Angkat

Maksimum Momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_y = 0,0054 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0027 w a b^2$$

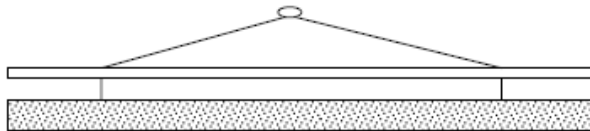
- M_x ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dari $15t$ atau $b/4$
- M_y ditahan oleh penampang dengan lebar $a/2$



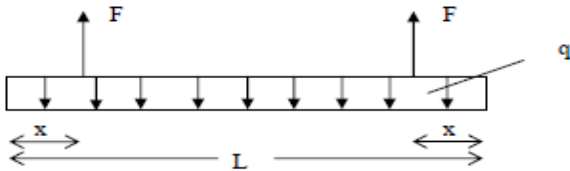
Gambar 2. 11 Posisi titik angkat pelat (8 buah titik angkat)
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and
Prestressed Concrete)

3.5.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.

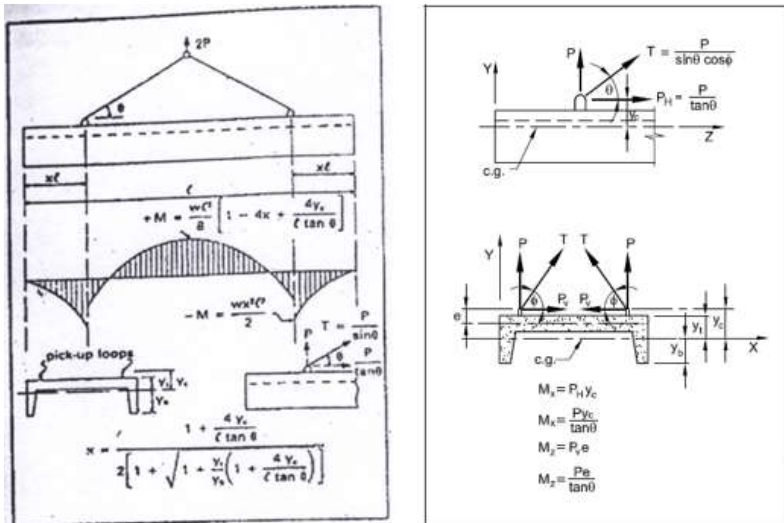


Gambar 2. 12 Pengangkatan balok pracetak
(Sumber: Kalingga, 2015)



Gambar 2. 13 Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan
(Sumber: Kalingga, 2015)

Balok pracetak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada Gambar 2.14 sebagai berikut:



Gambar 2. 14 Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok
(Sumber: PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 6th Edition, gambar 5.3.2.2)

Pada waktu proses pengangkatan balok pracetak diperlukan perhitungan gaya pengangkatan yang terjadi akibat berat sendiri balok. Kemudian gaya yang terjadi tersebut dikalikan dengan angka pengali beban statis ekuivalen yang terdapat pada Tabel 2.2 guna menghindari kerusakan pada balok pada waktu proses pengangkatan tersebut.

Tabel 2. 2 Angka pengali beban statis ekuivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis

Pengangkatan dari bekisting	1,7
Pengangkatan ke tempat penyimpanan	1,2
Transportasi	1,5
Pemasangan	1,2

(PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete Fourth Edition, 1992, table 5.2.1.)

3.6 Tinjauan Elemen Pracetak

3.6.1 Fase-Fase Penanganan Produk Pracetak

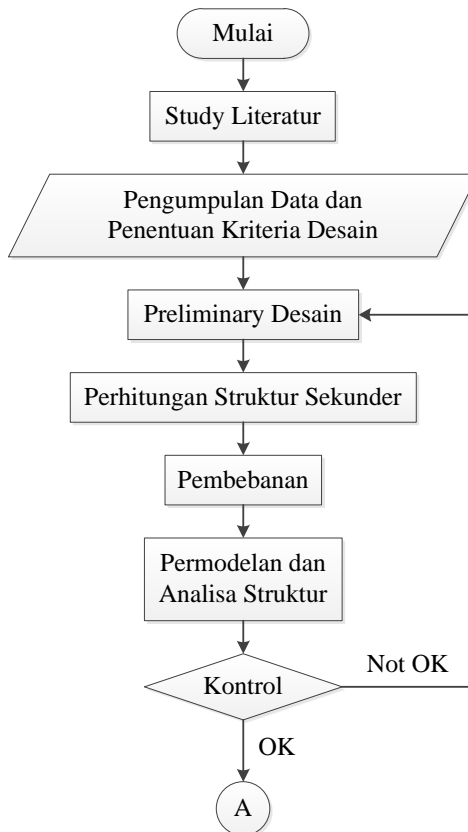
Sebelum digunakan produk pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi:

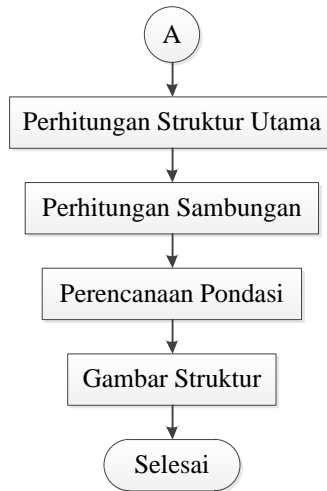
1. Pengangkatan dari bekisting modul (*stripping*)
 - a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lekatan permukaan beton dengan bekisting dan kejut, lihat tabel
 - c. Jumlah dan lokasi peralatan angkat
 - d. Berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang
 - e. terbawa saat produk diangkat
2. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*)

- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi titik-titik angkat sementara
 - c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
 - d. Perlindungan dari sinar matahari langsung
3. Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)
- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi sokongan vertikal maupun horisontal
 - c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
 - d. Pertimbangan dinamis saat transportasi
4. Pemasangan (*erection*)
- a. Orientasi produk apakah horisontal, vertikal, atau membentuk sudut
 - b. Lokasi dan jumlah titik-titik angkat
 - c. Lokasi dan jumlah titik-titik sokongan
- Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton overtopping.

BAB III METODOLOGI

Metodologi ini akan menguraikan dan menjelaskan cara dan urutan pelaksanaan penyelesaian tugas akhir. Mulai dari study literatur, pengumpulan data dan penentuan kriteria desain, preliminary design, permodelan struktur dan pembebanan, analisa dan perhitungan elemen struktur, perencanaan sambungan, lalu output berupa gambar teknik sampai dengan kesimpulan akhir dari tugas akhir ini.





Gambar 3. 1 Diagram alir metode penyelesaian tugas akhir
Langkah-langkah metode penyelesaian pada diagram alir

Berdasarkan diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan secara lebih detail sebagai berikut:

3.1 Data Perencanaan

Data-data perencanaan secara keseluruhan mencakup data umum bangunan, data bahan dan data tanah.

1. Data Umum Bangunan:

- Nama gedung : Apartemen Aspen Admiralty Tower C
- Lokasi : Jl. RS. Fatmawati No.1 Jakarta Selatan
- Tipe bangunan : Hunian
- Jumlah lantai : 23 lantai, 2 basement
- Tinggi bangunan : ± 80 meter
- Struktur bangunan : Beton bertulang konvensional

2. Data Gambar:

- Data Struktur : (Terlampir)
- Data arsitektur : (Terlampir)

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak dan data bangunan yang direncanakan sebagai berikut:

1. Data Umum Bangunan:

- Nama gedung : Apartemen Aspen Admiralty Tower C
- Lokasi : Jakarta Selatan
- Tipe bangunan : Hunian
- Jumlah lantai : 15 lantai
- Tinggi bangunan : $\pm 46,55$ meter
- Struktur bangunan : Beton pracetak (non prategang)

2. Data Material:

- Mutu beton (f'_c) : 30 Mpa
- Mutu Baja (f_y) : 400 Mpa
- Data tanah : (Terlampir)

3. Data Gambar:

- Data Struktur : (Terlampir)
- Data arsitektur : (Terlampir)

3.2 Penentuan Kriteria Desain

Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di Jakarta Selatan dengan kelas situs SE (tanah lunak). Berdasarkan aplikasi respon

spektral dari puskim.pu.go.id mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda pendek, $S_{DS} = 0,607$ dan parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik, $S_{DI} = 0,56$. Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 maka didapat Jakarta Selatan mempunyai kategori desain seismik D.

Tabel 3. 1 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II	III atau IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3. 2 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II	III atau IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726 2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.

3.3 Preliminary Design

Pada preliminary design ini akan menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya.

3.3.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi $\phi = 0,65$.

$$A = \frac{W}{\phi \times f_c'} \quad (3-1)$$

Dimana, W = Beban aksial yang diterima kolom
 f_c' = Kuat tekan beton karakteristik
 A = Luas penampang kolom

3.3.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \quad \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003w_c) \quad \text{digunakan untuk nilai } w_c \text{ 1440}$$

sampai 1840 kg/m³

Dimana:

b = Lebar balok

h = Tinggi balok

L = Panjang balok

3.4 Perhitungan Struktur Sekunder

3.4.1 Penentuan Dimensi Pelat

Dalam menentukan dimensi pelat langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan terlebih dahulu apakah pelat tergolong pelat satu arah (*One-way slab*) atau pelat dua arah (*two-way slab*).
2. Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a)). Sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan rumus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.1
3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi:
 - a) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2
 1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
 2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm
 - b) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0,2)} \quad (3-2)$$

(SNI 03-2847-2013, persamaan 9-12)

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-3)$$

(SNI 03-2847-2013, persamaan 9-13)

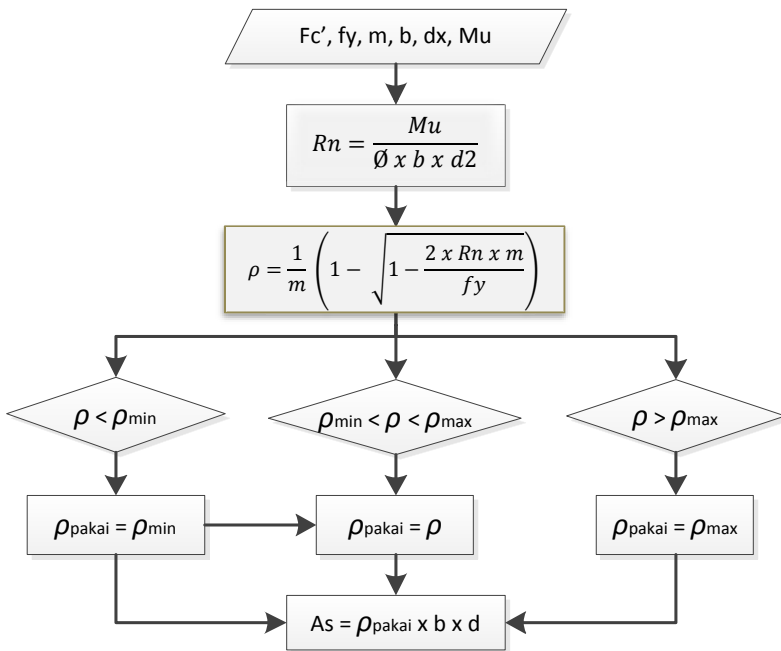
dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

dimana:

β = rasio dimensi panjang terhadap pendek

α_m = nilai rata - rata dari α_f untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

3.4.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Pelat



Gambar 3. 2 Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur

3.4.1.2 Pehitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1

3.4.2 Kontrol retak

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr} \quad (3-4)$$

dimana M_{cr} harus diperoleh menggunakan modulus hancur, f_r , yang diberikan pada SNI-2847-2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (3-5)$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c'} \quad (3-6)$$

dimana:

M_{cr} = momen retak

f_r = modulus hancur beton

I_g = momen inersia penampang beton bruto

y_t = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

λ = factor modifikasi ($\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal)

3.4.3 Perencanaan Balok Anak

Untuk penentuan dimensi balok anak perhitungan sama dengan perhitungan balok induk. Beban pelat yang diteruskan ke balok anak dihitung sebagai beban trapesium, segitiga dan dua segitiga. Beban ekivalen ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di balok anak untuk menentukan tulangan lentur dan geser (perhitungan tulangan longitudinal sama dengan pelat).

3.4.4 Perencanaan Tangga

Perencanaan desain awal tangga mencari lebar dan tinggi injakan.

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \quad (3-7)$$

Dimana :

t = tinggi injakan

i = lebar injakan

α = sudut kemiringan tangga ($25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$)

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol). Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

3.4.5 Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran (lift pit) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus. Perencanaan ini mencakup perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

3.5 Pembebanan

Dalam melakukan analisa desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Perilaku suatu struktur sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja padanya. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan SNI 03-1726-2012, SNI 03-2847-2013 dan PPIUG 1983.

3.5.1 Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states yaitu bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 adalah sebagai berikut.

a. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi yang dapat dipindahkan. Beban mati yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Beban mati pada struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg/m ²
Beton Bertulang	2400 kg/m ²
Dinding Pasangan ½ Bata	250 kg/m ²
Kaca Setebal 12 mm	30 kg/m ²
Langit-langit + Penggantung	18 kg/m ²
Lantai Ubin Semen Portland	24 kg/m ²
Spesi per cm tebal	21 kg/m ²

(sumber: PPIUG 1983)

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang – kadang dapat berarah horizontal. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada

suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban – beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Peraturan yang digunakan dalam perancangan beban hidup pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Beban hidup pada struktur

Beban Hidup	Besar Beban
Lantai Perkantoran / Restoran	250 kg/m ²
Lantai Ruang-ruang Balkon	400 kg/m ²
Tangga dan Bordes	300 kg/m ²
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg/m ²
Beban Pekerja	100 kg/m ²

(sumber: PPIUG 1983)

3.5.2 Beban Gempa

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012). Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh frame. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Perencanaan Beban Gempa pada struktur menggunakan metode diafragma, dimana pengaruh pada struktur dibebankan langsung kepusat massa bangunan (*center of mass*). Gaya geser dasar akibat gempa diperoleh dengan mengalikan berat gedung dengan faktor-faktor modifikasi sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada.

Analisa beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 meliputi:

- Penentuan respon spektrum

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI-03-1726-2012

- Respon seismik (C_s)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-8)$$

(Persamaan 7.8-2 SNI 03-1726-2012)

Dimana:

S_{DS} = percepatan spektrum respons disain dalam rentan periode pendek

R = faktor modifikasi respons dalam tabel 7.2-1 (SNI 03-1726-2012)

I_e = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan Tabel 6.4

nilai C_s max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (3-9)$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_s \times W \quad (3-10)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-11)$$

dimana:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1

W = berat seismik efektif menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.7.2

3.5.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1

- 1) $U = 1,4 D$
- 2) $U = 1,2 D + 1,6 L$
- 3) $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- 4) $U = 1,0 D + 1,0 L$
- 5) $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Dimana:

U = beban ultimate

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

3.6 Permodelan dan Analisa Struktur

Permodelan dan analisa struktur dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur akibat pembebanan, baik beban gravitasi maupun beban lateral. Output dari permodelan ini antara lain untuk mengetahui perilaku struktur secara keseluruhan dan perilaku komponen struktur. Perilaku struktur secara keseluruhan antara lain: partisipasi massa harus memenuhi, simpangan per lantai harus memenuhi, serta gaya geser gempa harus mendekati total reaksi horizontal di perletakan. Sedangkan perilaku komponen struktur meliputi komponen kolom dan balok yang ditinjau dari gaya dalam yang didapat dari permodelan struktur. Gaya dalam pada kolom yang perlu diperhatikan antara lain aksial, momen arah x dan y, torsi, geser. Gaya dalam pada balok antara lain momen, geser dan torsi.

Permodelan dan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000 dengan langkah-langkah permodelan sebagai berikut: Menggambar permodelan struktur, mendesain material dan penampang, memasukkan beban gravitasi dan beban lateral, perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan running, setelah itu dilakukan pengecekan apakah struktur tersebut sesuai dengan persyaratan atau tidak.

3.7 Perhitungan Struktur Utama

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendetailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

3.7.1 Perencanaan Balok Induk

3.7.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur plat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data d , f_y , f'_c , dan M_u
2. Menentukan harga β_1

$$\beta = \frac{f'_c}{f'_c + 6.75}$$

(3-12)

SNI 03-2847-2013 pasal (10.2.7.3)

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(3-13)

SNI 03-2847-2013 lampiran B (8.4.2)

$$\rho_{\max} = 0.025$$

(3-14)

SNI 03-2847-2013 pasal (21.5.2.1)

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

(3-15)

SNI 03-2847-2013 lampiran B (10.3.3)

$$\rho_{\min} = \frac{0.25x\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

(3-16)

SNI 03-2847-2013 pasal (10.5.1)

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

(3-17)

SNI 03-2847-2013 pasal (10.5.1)

Dari kedua harga ρ_{\min} tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

4. Menentukan harga m

$$m = \frac{fy}{0,85 f'c'} \quad (3-18)$$

5. Menentukan

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} \quad (3-19)$$

Diketahui harga $\phi = 0.75$

SNI 03-2847-2013 pasal (9.3.2.7)

6. Hitung rasio tulangan yang dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmRn}{fy}} \right) \quad (3-20)$$

Dimana :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$$

7. Menentukan luas tulangan (A_s) dari ρ yang didapat

$$\rho = \frac{A_s}{b x d} \longrightarrow A_s = \rho x b x d \quad (3-21)$$

$$8. \text{ Jumlah tulangan} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{1/4 x \pi x \phi^2} \quad (3-22)$$

$$9. \text{ Jarak tulangan} = \frac{b - n x \phi L - 2d' - 2\phi S}{n - 1} \quad (3-23)$$

3.7.1.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi $\phi V_n \geq V_u$,

dimana:

V_n = kuat geser nominal penampang

V_u = kuat geser terfaktor pada penampang

Φ = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

Kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton (V_c) dan tulangan (V_s)

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-24)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2

Dan untuk

$$V_c = 0,17\alpha\sqrt{f'c}b_w d \quad (3-25)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-26)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1

dimana:

V_u = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

V_n = Kuat geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan geser

3.7.1.3 Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila:

$$T_u \leq \frac{\phi\sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (3-27)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.1

Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (3-28)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20

Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_n = \frac{2.A_0.A_t.f_y}{s} \cot \theta \quad (3-29)$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21

Dimana:

T_u = Momen torsi terfaktor

T_n = Kuat momen torsi

T_c = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

T_s = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

A_0 = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser mm²

3.7.2 Perencanaan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 23.5.1.

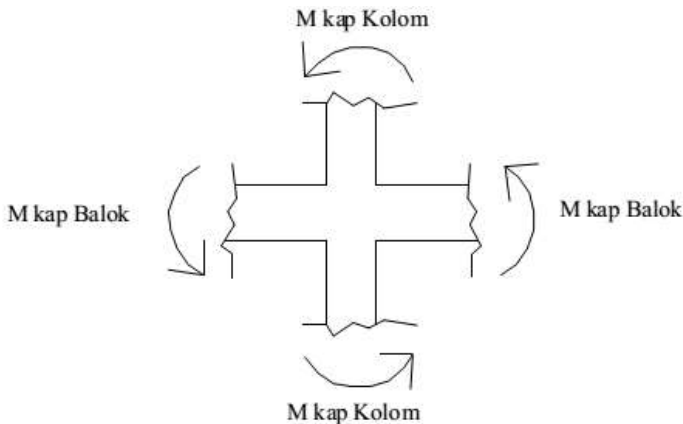
3.7.3 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (3-30)$$

SNI -2847-2013 pasal 21.6.2

Dimana $\sum M_{nc}$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum M_{nb}$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan strong kolom weak beam.



Gambar 3. 3 Ilustrasi kuat momen yang bertemu di HBK

3.7.4 Perencanaan Struktur Dinding Geser

3.7.4.1 Kuat Aksial Rencana

Kuat aksial rencana dihitung berdasarkan (SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.2)

$$\phi P_{nw} = 0,55 \phi f' c . A_g \left[1 - \left(\frac{k . I_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (3-31)$$

SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.2

3.7.4.2 Pemeriksaan Tebal Dinding

Tebal dinding dianggap cukup bila dihitung memenuhi (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.3)

$$\phi V_n = \phi 0,83 \sqrt{f' c} . h . d \geq V_u \quad (3-32)$$

SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.3)

Dimana:

$$d = 0,8 I_w$$

3.7.4.3 Kuat Geser Beton

Dihitung Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.6.

3.7.4.4 Keperluan Penulangan Geser

Penulangan geser dihitung berdasarkan (SNI 03-2847-2013, pasal 21.9.2.2)

3.7.4.5 Penulangan Geser Horisontal

Dihitung berdasarkan pada (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.9)

3.7.4.6 Penulangan Geser Vertikal

Dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.9.4

3.8 Perencanaan Sambungan

Kelemahan konstruksi pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa, mengingat Indonesia merupakan daerah dengan intensitas gempa yang cukup besar. Untuk itu sambungan antara elemen balok pracetak dengan kolom maupun dengan plat pracetak direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit (*cast in place emulation*).

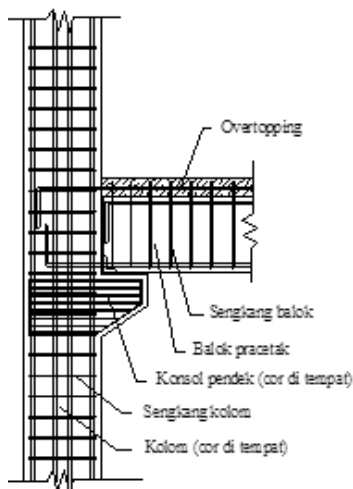
Dengan metode konstruksi semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton *cast in place* di atasnya, maka diharapkan sambungan elemen-elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Untuk menjamin kekakuan dan kekuatan pada detail sambungan ini memang butuh penelitian mengenai perilaku sambungan tersebut terhadap beban gempa. Berdasarkan beberapa referensi hasil penelitian yang dimuat dalam PCI Journal, ada rekomendasi pendetailan sambungan elemen pracetak dibuat dalam kondisi daktail sesuai dengan konsep desain kapasitas strong coloumn weak beam.

Dalam perencanaan sambungan pracetak, gaya – gaya disalurkan dengan cara menggunakan sambungan grouting, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombinasi cara – cara tersebut. Dalam penulisan tugas akhir ini digunakan sambungan dengan pelapisan beton bertulang cor setempat.

3.8.1 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom

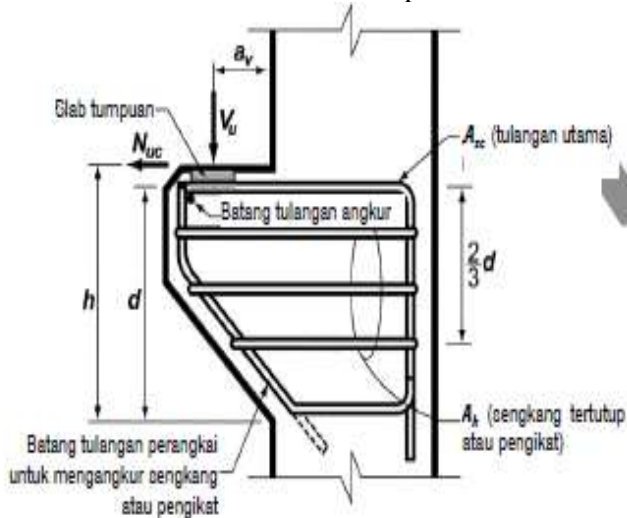
Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus bersifat kaku atau monolit. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Untuk menghasilkan sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat, dapat dilakukan beberapa hal berikut ini.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (*topping*), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarkkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13, yaitu tulangan menerus atau pemberian kait standar pada sambungan ujung.
- Pemasangan dowel dan pemberian grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak dan kolom untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.



Gambar 3. 4 Sambungan balok dengan kolom
(Sumber: Kalingga, 2015)

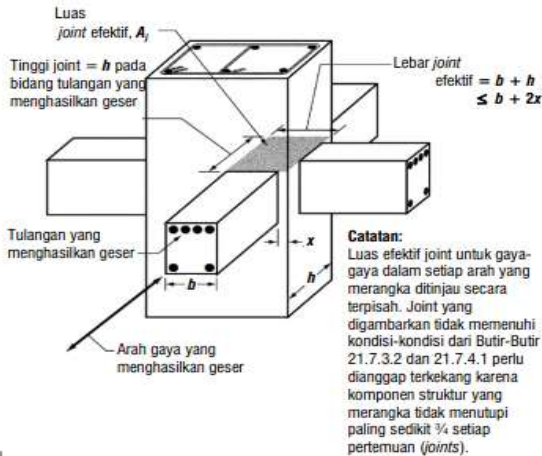
Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.



Gambar 3. 5 Parameter geometri konsol pendek
(Sumber: SNI 03-2847-2013)

Untuk pemakaian sambungan monolit, harus dipenuhi semua kriteria untuk struktur beton bertulang yang monolit, yaitu kekuatan, kelakuan, daktilitas, dst. Sementara bila sambungan kuat yang akan dipakai, harus diyakinkan akan berlangsungnya mekanisme kolom kuat-balok lemah. Pada sambungan balok-kolom harus didesain terjadinya pelelehan lentur di dalam sambungan, sementara pada sambungan kuat pelelehan harus terbentuk di luar sambungan, yaitu paling tidak pada jarak setengah tinggi balok di luar muka kolom. Selanjutnya, baik sambungan balok-kolom daktail maupun kuat harus memenuhi semua persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 21.8

Kuat geser nominal, V_n pada daerah hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang disebutkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.7.4



Gambar 3. 6 Hubungan Balok Kolom
(Sumber: SNI 03-2847-2013)

3.8.2 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi overtopping yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm
- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan pelat pracetak dan beton pracetak dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 03- 2847-2013 pasal 7.13.

- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.

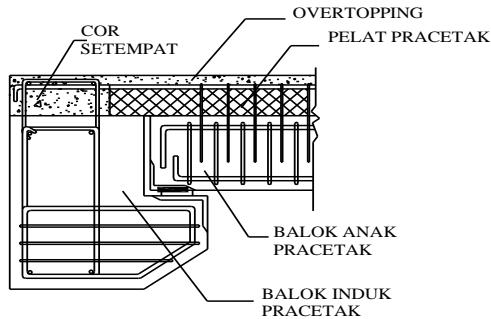


Gambar 3. 7 Sambungan Antara Balok dengan Pelat
(Sumber: Kalingga, 2015)

3.8.3 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya $1/180$ kali bentang bersih komponen plat pracetak, tapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SK SNI 03-2847-2013.

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.



Gambar 3. 8 Sambungan balok induk dengan balok anak
(Sumber: Kalingga, 2015)

3.9 Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Biaya pondasi dibandingkan biaya bangunan atas

Pemakaian tiang pancang digunakan untuk pondasi suatu bangunan bila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau bila tanah keras yang mampu memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam.

Struktur pondasi direncanakan dengan menggunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang. Perhitungan kekuatan pondasi berdasarkan data tanah yang didapat dari tes sondir.

Nilai Konus diambil 4 D keatas & 4 D kebawah

$$P \text{ ijin 1 tiang} = \frac{A \text{ tiang} \times Cn}{Sf_1} + \frac{JHP \times Q}{Sf_2} \quad (3-33)$$

$$Sf_1 = (2 - 3)$$

$$Sf_2 = (5 - 8)$$

3.9.1 Kebutuhan Tiang Pancang

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan

$$n = \frac{\sum P}{P_{ijin}} \quad (3-34)$$

$$S \geq \frac{1,57(D) \min - 2D}{m + n - 2} \quad (3-35)$$

Kontrol tegangan yang terjadi pada tiang pancang

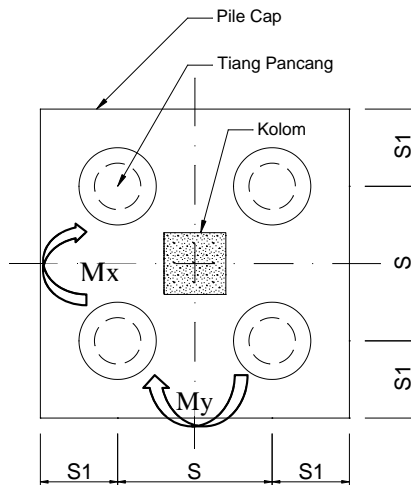
$$P_{satuTP} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x Y_{\max}}{\sum y^2} \quad (3-36)$$

Efisiensi satu tiang pancang:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3-37)$$

Dimana, $\theta = \arctg \left(\frac{D}{S} \right)$

$P_{ult} = \text{Efisiensi tiang} \times P_u$ 1 tiang berdiri



Gambar 3. 9 Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang
(Sumber: Kalingga, 2015)

3.9.2 Perencanaan Terhadap Geser

a) Kontrol geser satu arah

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$\phi \frac{1}{6} \sqrt{f' c b_o} d \geq V_u \quad (3-38)$$

b) Kontrol geser dua arah (geser ponds)

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari:

$$\bullet \quad V_c = 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f' c b_o} d \quad (3-39)$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.12.1(a)

$$\bullet \quad V_c = 0.083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f' c b_o} d \quad (3-40)$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.12.1(b)

$$\bullet \quad V_c = 0.33 \lambda \sqrt{f' c b_o} d \quad (3-41)$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.12.1(c)

Dimana :

β = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

b_o = keliling pada penampang kritis pada poer

$$= 2(b_{\text{kolom}} + d) + 2(h_{\text{kolom}} + d)$$

$\alpha_s \rightarrow 30$, untuk kolom tepi

$\rightarrow 40$, untuk kolom tengah

$\rightarrow 20$, untuk kolom pojok

$\phi V_c > P_u$OK (Ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser)

3.10 Penggambaran Hasil Perhitungan

Penggambaran hasil perencanaan dan perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan program AutoCAD.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Desain

4.1.1 Umum

Preliminary desain merupakan tahapan perhitungan dalam perancangan untuk merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur. Elemen struktur sendiri terbagi dalam elemen struktur primer atau struktur utama dan struktur sekunder. Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekakuan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung, ataupun tegangan akibat perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian perancangan struktur sekunder ini meliputi pelat dan tangga. Sebelum menentukan dimensi pelat, perlu diadakan preliminary design untuk menentukan besarnya pembebanan yang terjadi pada pelat. Perhitungan preliminary design mengikuti peraturan SNI-03-2847-2013.

4.1.2 Data Perencanaan

Sebelum perhitungan *preliminary design* perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima oleh struktur gedung. Pada perencanaan gedung tower C apartemen Aspen Admiralty dimodifikasi menggunakan beton pracetak (non prategang) dengan data perencanaan sebagai berikut:

- Nama gedung : Apartemen Aspen Admiralty Tower C
- Lokasi : Jl. RS. Fatmawati No.1 Jakarta Selatan
- Tipe bangunan : Hunian
- Jumlah lantai : 14 lantai
- Ketinggian lantai : 3,325 meter
- Tinggi bangunan : $\pm 46,55$ meter
- Struktur bangunan : Beton pracetak (non prategang)
- Mutu beton (f'_c) : 30 Mpa
- Mutu baja (f_y) : 390 Mpa
- Letak bangunan : Jauh dari pantai

4.1.3 Pembebanan

1. Beban Gravitasi

➤ Beban Mati (PPIUG 1983)

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m³
- Tegel : 24 kg/m³
- Dinding ½ bata : 250 kg/m³
- Plafond : 11 kg/m³
- Penggantung : 7 kg/m³
- Plumbing + duckting : 25 kg/m³
- Spesi : 21 kg/m³

➤ Beban Hidup

- Beban pekerja : 100 kg/m³
- Lantai perkantoran : 250 kg/m³
- Tangga dan bordes : 300 kg/m³

2. Beban Angin

- Jauh dari pantai : 25 kg/m³

3. Beban Gempa

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 03-1726-2012.

4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi pada tugas akhir ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi (rectangular beam). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap dimana tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem fabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke site lalu dilakukan *over-topping (cor in site)* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan system tersebut maka akan membentuk suatu struktur yang monolit.

Dimensi balok yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \quad \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times (1,65 - 0,003w_c) \quad \text{digunakan untuk nilai } w_c$$

1440 sampai 1840 kg/m³

Untuk lebar balok diambil $\frac{2}{3}$ dari tinggi balok:

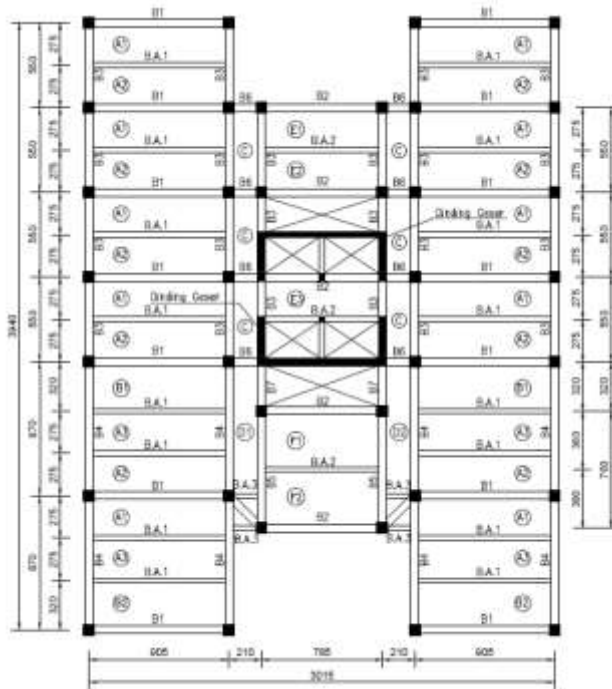
$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana:

b = lebar balok

h = tinggi balok

L = lebar kotor dari balok



Gambar 4. 1 Denah pemalokan

4.1.4.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan:

➤ **Dimensi Balok induk memanjang: L = 8,7 meter**

$$h_{\min} = \frac{870}{16} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 52,04 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 52,04 \text{ cm digunakan } h = 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 52,04 \text{ cm} = 34,70 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 50/70

➤ **Dimensi balok induk melintang: L = 9,05 meter**

$$h_{\min} = \frac{905}{16} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 54,14 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 54,14 \text{ cm} \approx \text{digunakan } h = 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 54,14 \text{ cm} = 36,09 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk melintang dengan dimensi 50/70

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode balok induk	Bentang bersih (Lb)	h_{\min}	b	h_{pakai}	b_{pakai}	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
B1	905	54,1	36,1	70	50	50/70
B2	785	47,0	31,3	70	50	50/70
B3	550	32,9	21,9	70	50	50/70
B4	870	52,0	34,7	70	50	50/70
B5	760	45,5	30,3	70	50	50/70
B6	210	12,6	8,4	70	50	50/70
B7	320	19,1	12,8	70	50	50/70

4.1.4.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan:

$$h_{\min} = \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{fy}{700}\right) \quad fy \text{ selain } 420 \text{ Mpa (SNI-03-2847-2013 Tabel 9.5.a)}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana:

b = lebar balok

h = tinggi balok

maka dimensi balok anak arah melintang dengan L = 9,05 meter adalah:

$$h_{\min} = \frac{905}{21} \times \left(0,4 + \frac{390}{700}\right) = 41,25 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 41,25 \text{ cm digunakan } h = 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 41,25 \text{ cm} = 27,5 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 30 \text{ cm}$$

maka digunakan balok anak arah melintang dengan dimensi 30/50

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok Anak	Bentang bersih (L _b)	h _{min}	b	h _{pakai}	b _{pakai}	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
BA1	905	41,2	27,5	50	30	30/50
BA2	785	35,8	23,9	50	30	30/50
BA3	210	9,6	6,4	50	30	30/50

4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

4.1.5.1 Peraturan Perencanaan Pelat

Penentuan tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c). sedangkan

untuk pelat dua arah harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3.

Syarat ketebalan pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya:

d) Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2

3. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm

4. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm

e) Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (\text{SNI 03-2847-2013, persamaan 9-12})$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

f) Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (\text{SNI 03-2847-2013, persamaan 9-13})$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

dimana:

ℓ_n = panjang bentang bersih arah memanjang pelat (m)

β = rasio panjang bentang arah memanjang dengan arah memendek pelat

α_m = nilai rata-rata dari α untuk semua balok pada tepi dari suatu pelat

α = rasio dari kekuatan lentur penampang balok dengan kekakuan pelat

f_y = kuat leleh baja non-prategang (Mpa)

$$\alpha = \frac{E_{\text{balok}} \times I_{\text{balok}}}{E_{\text{pelat}} \times I_{\text{pelat}}}$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \times bw \times h^3 \times k$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{1}{12} \times b \times t^3$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{hf}{hw}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right)\right] + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{hf}{hw}\right)^3}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \times \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

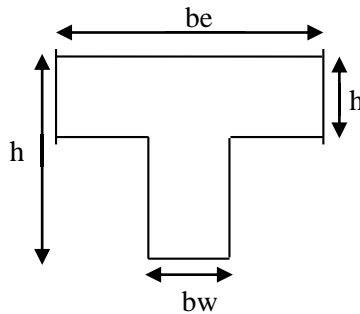
Perumusan untuk mencari lebar flens pada balok SNI 03-2847-2013 pasal 8.12

- Balok tengah (Interior)

$$be_1 \leq bw + 2(8hf)$$

$$be_2 \leq bw + (2 \times \frac{1}{2} Ln)$$

dipakai yang terkecil



Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 8.12.2: nilai lebar slab efektif sebagai sayap balok-T tidak boleh memenuhi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap yang menggantung pada masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:

- Delapan kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

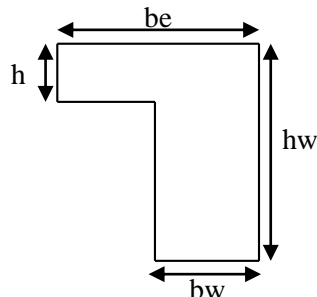
- Balok tepi (Eksterior)

$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} Ln$$

dipakai yang terkecil



Menurut SNI 03-2847-201X pasal 8.12.3: Nilai lebar sayap efektif yang menggantung tidak boleh melebihi:

- Seperduabelas panjang bentang balok
- Enam kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

4.1.5.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

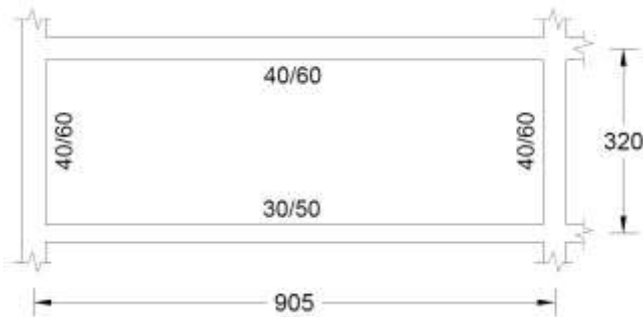
Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 8 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu:

- Pelat tipe A : 275 x 905 cm
- Pelat tipe B : 320 x 905 cm
- Pelat tipe C : 210 x 550 cm
- Pelat tipe D : 210 x 870 cm
- Pelat tipe E : 275 x 785 cm
- Pelat tipe F : 380 x 785 cm

Semua tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu baja : 390 MPa
- Tebal pelat rencana : 15 cm

Dalam perencanaan ini, pelat berupa pelat pracetak yang kemudian pada saat pemasangan elemen pracetak tersebut dilanjutkan (pekerjaan overtopping). Dalam tugas akhir ini pelat tipe C dengan dimensi terbesar yaitu 320 x 905 cm digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi tebal pelat dengan sehingga nilai L_n dan S_n yaitu:



$$L_n = 905 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 855 \text{ cm}$$

$$S_n = 320 - \left(\frac{30}{2} + \frac{50}{2} \right) = 280 \text{ cm}$$

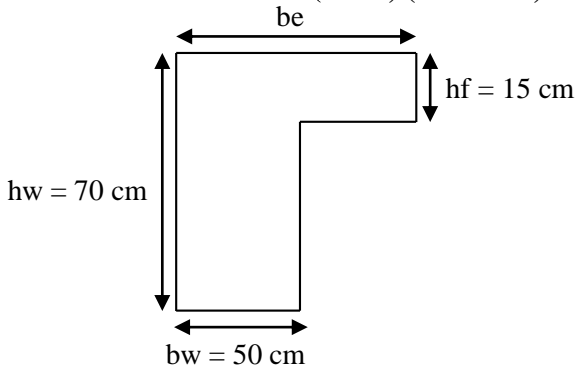
4.1.5.3 Kontrol Tebal Pelat

Untuk pelat tipe C dengan dimensi 320x905 cm nilai

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{855}{280} = 3,05$$

sehingga $\beta > 2$ tergolong pelat satu arah, maka perhitungan lebar sayap efektif adalah:

1. Balok induk L = 320 cm (50/70) (Eksterior)



$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12} = 50 + \frac{320}{12} = 76,67 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf = 50 + 6(15) = 140 \text{ cm}$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} L_n = 50 + \frac{1}{2} (280) = 190 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 76,67 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw} \right) + 4 \left(\frac{hf}{hw} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{hf}{hw} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{76,67}{50} - 1 \right) \left(\frac{15}{70} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{70} \right) + 4 \left(\frac{15}{70} \right)^2 + \left(\frac{76,67}{50} - 1 \right) \left(\frac{15}{70} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{76,67}{50} - 1 \right) \left(\frac{15}{70} \right)}$$

$$k = 1,2$$

$$I_{balok} = \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k$$

$$= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,2$$

$$= 1708141 \text{ cm}^4$$

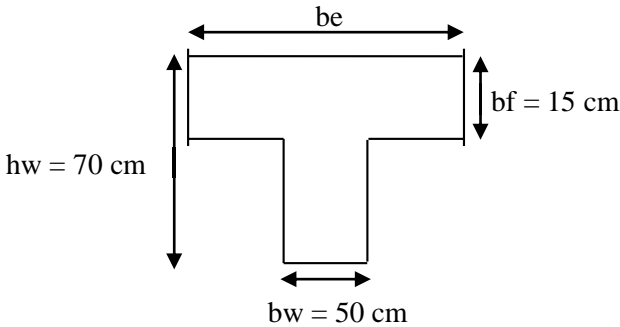
$$I_{pelat} = \frac{1}{12} \times L \times hf^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 320 \times 15^3$$

$$= 90000 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{1708141}{90000} = 18,98$$

2. Balok induk L = 320 cm (50/70) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 50 + 2(8 \times 15) = 290 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 50 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 280\right) = 330 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 290 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{70}\right) + 4 \left(\frac{15}{70}\right)^2 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right)}$$

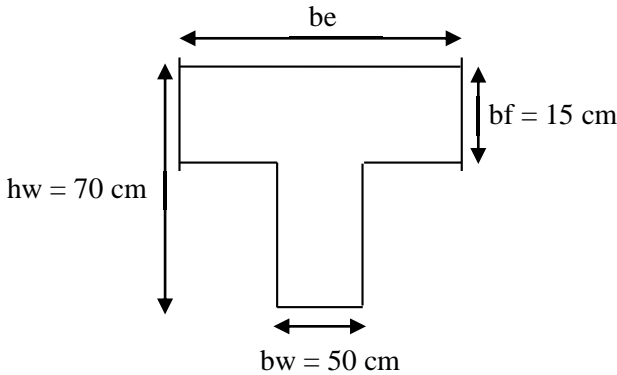
$$k = 1,99$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,99 \\ &= 2838744 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 320 \times 15^3 \\
 &= 90000 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{2838744}{90000} = 31,54$$

3. Balok induk L = 905 cm (50/70) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 50 + 2(8 \times 15) = 290 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 50 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 855\right) = 905 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 290 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{15}{70}\right) + 4 \left(\frac{15}{70}\right)^2 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right)}$$

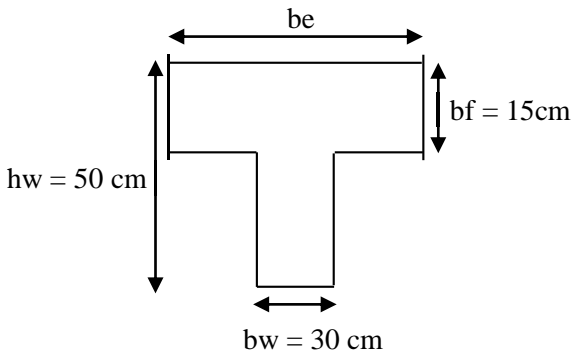
$$k = 1,99$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times b_w \times h_w^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,99 \\ &= 2838744 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times h_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 905 \times 15^3 \\ &= 254531,3 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{2838744}{254531,3} = 11,15$$

4. Balok anak L = 905 cm (30/50) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 30 + 2(8 \times 15) = 270 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 30 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 855\right) = 885 \text{ cm}$$

Maka dipakai $be = 270 \text{ cm}$... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6\left(\frac{hf}{hw}\right) + 4\left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{270}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{50}\right) \left[4 - 6\left(\frac{15}{50}\right) + 4\left(\frac{15}{50}\right)^2 + \left(\frac{270}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{270}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{50}\right)}$$

$$k = 2,25$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\ &= \frac{1}{12} \times 30 \times 50^3 \times 2,25 \\ &= 704264,7 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 905 \times 15^3 \\ &= 254531,3 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{704264,7}{254531,3} = 2,77$$

$$\text{Jadi, } \alpha_m = \frac{18,98 + 31,54 + 11,15 + 2,77}{4} = 16,11$$

Karena $\alpha_m > 2$ maka perletakan pelat adalah jepit penuh

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3(c) yang mana $\alpha_m > 2$ maka ketebalan pelat minimum adalah:

$$h = \frac{\ell n \left(0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

$$h = \frac{855 \left(0,8 + \frac{390}{1400} \right)}{36 + 9 \times 3,05} = 14,53 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

Maka digunakan tebal pelat 15 cm

4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang tinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Data-data yang diperlukan dalam menentukan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

- Tebal pelat = 15 cm = 150 mm
- Tinggi tiap lantai = 3,325 m
- Dimensi balok induk = Tabel 4.1
- Dimensi balok anak = Tabel 4.2

Bedasarkan PPIUG 1983 pembebanan seperti berikut ini:

a. Beban mati lantai 2-14 dan atap

Beban mati yang diterima oleh kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: 7,1x5,575x0,15x2400 kg/m ³ x14lt	=199495,8 kg
Balok Induk	: 12,675x0,40x0,60x2400kg/m ³ x14 lt	=102211,2 kg
Balok anak	: 9,05x0,30x0,5x2400 kg/m ³ x14 lt	= 45612,0 kg
Aspal (1cm)	: 7,1x5,575x0,01x1400 kg/m ² x14 lt	= 7758,17 kg
Plafond	: 7,1x5,575x11 kg/m ² x14 lt	= 6095,705 kg
Penggantung	: 7,1x5,575x7 kg/m ² x14 lt	= 3879,085 kg

$$\begin{aligned}
\text{Plumbing} &: 7,1 \times 5,575 \times 10 \text{ kg/m}^2 \times 14 \text{ lt} &= 5541,55 \text{ kg} \\
\text{Spesi (2cm)} &: 7,1 \times 5,575 \times 0,02 \times 2100 \text{ kg/m}^3 \times 14 \text{ lt} &= 23274,51 \text{ kg} \\
\text{Dinding} &: (7,1 + 5,575) \times 3,325 \times 0,15 \times 250 \times 14 \text{ lt} &= 22125,8 \text{ kg} \\
\text{Sanitasi} &: 7,1 \times 5,575 \times 20 \text{ kg/m}^2 \times 14 \text{ lt} &= \underline{11083,1 \text{ kg}} + \\
&\text{Beban Mati Total (DL)} &= 427076,92 \text{ kg}
\end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned}
\text{Beban atap} &: 7,1 \times 5,575 \times 100 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ lt} &= 3958,25 \text{ kg} \\
\text{Beban lantai} &: 7,1 \times 5,575 \times 250 \text{ kg/m}^2 \times 13 \text{ lt} &= \underline{128643,125 \text{ kg}} + \\
&\text{Berat Total (LL)} &= 132601,375 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Berdasarkan RSNI 03-1727-2013 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\begin{aligned}
\text{LL} &= 0,8 \times 132601,375 \\
&= 109247,7 \text{ kg} \\
\text{Jadi berat total} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
&= 1,2 (427076,92) + 1,6 (109247,7) \\
&= 687288,624 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 9.3.2.2 untuk komponen struktur yang terkena beban aksial dan beban aksial dengan lentur, faktor reduksi yang digunakan adalah $\phi = 0,65$. Setelah itu dapat diperkirakan luas dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$\text{Mutu beton} = 30 \text{ Mpa} = 30 \times 10 = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Rencana Awal} \rightarrow A = \frac{W}{\Phi f'_c} = \frac{687288,624}{0,65 \times 300} = 3524,56 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
\text{Misalkan } b = h, \text{ maka } b^2 &= 3524,56 \text{ cm}^2 \\
b &= 59,36 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$A = b \times h$ dengan penampang persegi $b = h$, maka didapat dimensi kolom $h = 59,21 \text{ cm}$, sehingga dimensi kolom $70 \times 70 \text{ cm}$ dapat memenuhi sebagai desain preliminary kolom. Jadi dimensi kolom digunakan **70/70 cm**.

4.1.7 Perencanaan Tebal Dinding Geser

Bedasarkan peraturan SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari $1/25$ tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak kurang daripada 100 mm.

Dalam tugas akhir ini tebal dinding geser direncanakan sebagai berikut:

Tebal dinding geser = 40 cm

Panjang bentang dinding = 785 cm

Tinggi dinding = 332,5 cm

$T \geq H/25$ = $332,5/25 = 13,3$ cm

$T \geq L/25$ = $785/25 = 31,4$ cm

Dengan demikian tebal dinding geser 40 cm memenuhi.

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

4.2.1 Perencanaan Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 15 cm dengan perincian tebal pelat pracetak 9 cm dan pelat cor setempat (*overtopping*) 6 cm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar beban yang bekerja pada struktur pelat adalah Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983). Desain Pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu :

1. Sebelum Komposit

Keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran topping yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.

2. Sesudah Komposit

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Pada dasarnya, permodelan pelat terutama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit adalah untuk perhitungan tulanan pelat. Pada saat sebelum komposit yaitu kondisi ketika pemasangan awal pelat, pelat diasumsikan tertumpu

pada dua tumpuan. Sedangkan pada saat setelah komposit, perletakan pelat diasumsikan sebagai perletakkan terjepit elastis.

Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan diatas. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

4.2.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain adalah:

- Tebal pelat = 15 cm
- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa
- Diameter tulangan rencana = 10 mm

4.2.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

Sebelum komposit

Dalam pembebanan sebelum komposit akan diperhitungkan dua keadaan yaitu:

1. Berat orang yang bekerja dan peralatannya saat pemasangan pelat pracetak ataupun saat pengecoran topping dianggap sebagai beban kerja dan berat topping.
2. Topping telah terpasang tapi belum berkomposit dengan pelat pracetak, sehingga yang terjadi hanya beban topping saja.

Pada kedua keadaan ini diambil nilai yang paling kritis.

- Beban mati (DL)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Berat sendiri} & = 0,09 \times 2400 & = 216 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Berat topping} & = 0,06 \times 2400 & = 144 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{DL} & & = 360 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

- Beban hidup (LL)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Beban kerja} & \text{LL} & = 250 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

Setelah komposit

- Beban mati (DL)

Berat sendiri	$= 0,15 \times 2400$	$= 360 \text{ kg/m}^2$
Plafon+penggantung	$= 11 + 7 \text{ kg/m}^2$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Ubin (t = 2 cm)	$= 0,02 \times 2400$	$= 48 \text{ kg/m}^2$
Spesi (t = 2 cm)	$= 0,02 \times 2100$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Ducting AC + pipa	$= 10 + 5 \text{ kg/m}^2$	$= 15 \text{ kg/m}^2$
	DL	$= 483 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)

Beban hidup pada lantai	LL	$= 250 \text{ kg}$
-------------------------	----	--------------------

4.2.1.3 Pembebanan Pelat Atap**Sebelum komposit**

- Beban mati (DL)

Berat sendiri	$= 0,09 \times 2400$	$= 216 \text{ kg/m}^2$
Berat topping	$= 0,06 \times 2400$	$= 144 \text{ kg/m}^2$
	DL	$= 360 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)

Beban kerja	$= 100 \text{ kg/m}^2$	
Beban air hujan	$= 20 \text{ kg/m}^2$	
	LL	$= 120 \text{ kg/m}^2$

Setelah komposit

- Beban mati (DL)

Berat sendiri	$= 0,15 \times 2400$	$= 360 \text{ kg/m}^2$
Plafon+penggantung	$= 11 + 7 \text{ kg/m}^2$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Aspal (t = 1 cm)	$= 0,01 \times 1400$	$= 14 \text{ kg/m}^2$
Spesi (t = 2 cm)	$= 0,02 \times 2100$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
Ducting AC + pipa	$= 10 + 5 \text{ kg/m}^2$	$= 15 \text{ kg/m}^2$
	DL	$= 449 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup (LL)

Beban hidup pada atap	$= 100 \text{ kg/m}^2$	
Beban air hujan	$= 20 \text{ kg/m}^2$	
	LL	$= 120 \text{ kg/m}^2$

Berdasarkan RSNI 03-1727-2013 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\text{Beban hidup} = 0,8 \times 120 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

4.2.1.4 Kombinasi pembebanan pelat

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1 didapatkan

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan **pelat lantai**:

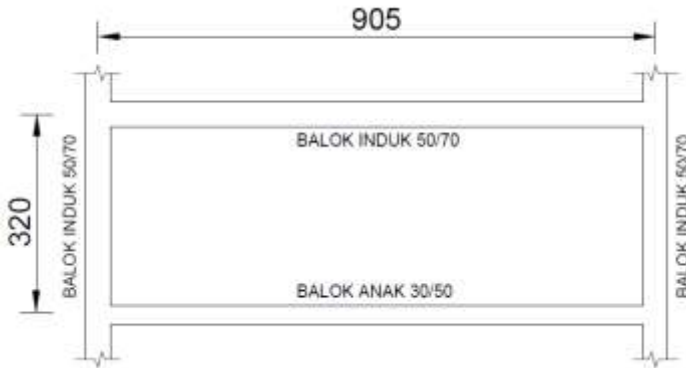
- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja
 $Q_u = 1,2 (216) + 1,6 (250) = 659,2 \text{ kg/m}^2$
- Keadaan 2 sebelum komposit, topping telah terpasang
 $Q_u = 1,2 (360) + 1,6 (0) = 432 \text{ kg/m}^2$
- Keadaan 3, setelah komposit
 $Q_u = 1,2 (483) + 1,6 (250) = 979,6 \text{ kg/m}^2$

Serta perhitungan kombinasi pembebanan **pelat atap**:

- Keadaan 1, ada beban kerja
 $Q_u = 1,2 (216) + 1,6 (96) = 412,8 \text{ kg/m}^2$
- Keadaan 2, topping telah terpasang
 $Q_u = 1,2 (360) + 1,6 (0) = 432 \text{ kg/m}^2$
- Keadaan 3, setelah komposit
 $Q_u = 1,2 (449) + 1,6 (96) = 692,4 \text{ kg/m}^2$

4.2.1.5 Perhitungan Tulangan Pelat

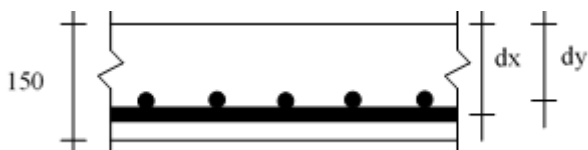
Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit dan kedua adalah penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara kedua keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Perhitungan pelat tipe B dengan dimensi 320 cm × 905 cm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.



Gambar 4. 2 Pelat tipe B (320 cm x 905 cm)

Data perencanaan untuk penulangan pelat:

- Menentukan data perencanaan penulangan pelat
- | | |
|------------------------------|-------------------|
| Dimensi pelat | = 320 cm × 905 cm |
| Tebal pelat pracetak | = 90 mm |
| Tebal overtopping | = 60 mm |
| Tebal decking | = 20 mm |
| Diameter tulangan rencana | = 10 mm |
| Mutu tulangan baja (f_y) | = 390 MPa |
| Mutu beton (f'_c) | = 30 MPa |



Gambar 4. 3 Potongan pelat

- Kondisi sebelum komposit
- $$d_x = 90 - 20 - \frac{10}{2} = 65 \text{ mm}$$
- $$d_y = 90 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 55 \text{ mm}$$

- Kondisi sesudah komposit

$$dx = 150 - 20 - \frac{10}{2} = 125 \text{ mm}$$

$$dy = 150 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 115 \text{ mm}$$

- Untuk mutu beton $f'_c = 30 \text{ MPa}$ berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3 harga dari β_1 adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

Dengan demikian maka batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang diisyaratkan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,02475$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$L_y = 905 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 855 \text{ cm}$$

$$L_x = 320 - \left(\frac{30}{2} + \frac{50}{2} \right) = 280 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{855}{280} = 3,05 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Pada penulangan pelat satu arah hanya terdapat satu tulangan utama yaitu searah melintang pelat. Sedangkan tulangan yang terdapat pada arah memanjang pelat merupakan tulangan pembagi yang berfungsi untuk menahan susut dan suhu.

Penulangan utama pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tarikanya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tarikanya berada di bawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik tulangan utama maupun tulangan pembagi direncanakan menggunakan D10 (78,54 mm²)

4.2.1.6 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{855}{280} = 3,05 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

- $M_{lx}^{(+)} = M_{tx}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_x^2 \text{ x} \rightarrow \text{x} = 83$
- $M_{ly}^{(+)} = M_{ty}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_y^2 \text{ y} \rightarrow \text{y} = 57$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$\begin{aligned} M_{lx}^{(+)} = M_{tx}^{(-)} &= 0,001 \times 659,2 \times 2,8^2 \times 83 \\ &= 428,954 \text{ kgm} = 4289546,24 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d \times 2} = \frac{4289546,24}{0,8 \times 1000 \times 65^2} = 1,27$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,27}{390}} \right) = 0,0033\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0033 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ maka dipakai $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0036 \times 1000 \times 65 = 234 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned}\text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 90 \\ &\leq 270 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D10}}} \\ &= \frac{234}{78,54} = 2,98 \approx 3 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 270 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-250 mm.

• Penulangan arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\text{min}} = 0,002$ (SNI 03–2847–2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 55 = 110 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned}\text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 90 \\ &\leq 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

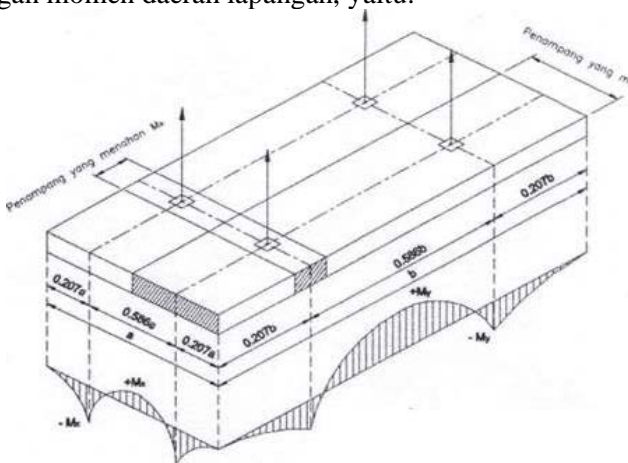
$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D10}}}$$

$$= \frac{110}{78,54} = 1,4 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$
Maka digunakan tulangan susut D10-450 mm.

4.2.1.7 Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*Precast and Prestressed Concrete*” seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3 dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



Gambar 4. 4 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe C: $320 \times 905 \text{ cm}$ ($L_x = 280 \text{ cm}$, $L_y = 855 \text{ cm}$)

Ditentukan $a = 2,8 \text{ m}$ dan $b = 8,55 \text{ m}$

Dengan $w = (0,09 \times 2400) = 216 \text{ kg/m}$

Maka:

$$M_x = 0,0107 \times 216 \times 2,8^2 \times 8,55 = 154,924 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 216 \times 2,8 \times 8,55^2 = 473,073 \text{ kgm}$$

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$M_u = 154,924 \text{ kgm} = 1549240 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d x^2} = \frac{1549240}{0,8 \times 1000 \times 65^2} = 0,46$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,46}{390}} \right) = 0,00119 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00119 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{min} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0036 \times 1000 \times 65 = 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 90 \\ &\leq 270 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D10}}} \\ &= \frac{234}{78,54} = 2,98 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/3 = 333 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 270 \text{ mm}$
Maka digunakan tulangan lentur D10-250 mm.

- **Penulangan arah Y (tulangan susut)**

$$M_u = 473,073 \text{ kgm} = 4730730 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d y^2} = \frac{4730730}{0,8 \times 1000 \times 55^2} = 1,46$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,46}{390}} \right) = 0,00385$$

$\rho_{\text{min}} = 0,002 < \rho_{\text{perlu}} = 0,00385 < \rho_{\text{max}} = 0,02475$ sehingga
 $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0,00535$ didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0,00385 \times 1000 \times 55 = 211,75 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum, $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$, maka:

$$\leq 5 \times 90$$

$$\leq 450 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D10}}}$$

$$= \frac{211,75}{78,54} = 2,69 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-300 mm.

4.2.1.8 Penulangan Pelat Sesudah Komposit

$$Q_u = 979,6 \text{ kg/m}^2$$

$$d_x = 125 \text{ mm}$$

$$d_y = 115 \text{ mm}$$

Menentukan momen (M_u) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{865}{280} = 3,09 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

- $M_{ux}^{(+)} = M_{ux}^{(-)} = 0,001 Q_u L_x^2 \rightarrow x = 83$
- $M_{ly}^{(+)} = M_{ly}^{(-)} = 0,001 Q_u L_y^2 \rightarrow y = 57$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$\begin{aligned} \text{Mulx}^{(+)} = \text{Mutx}^{(-)} &= 0,001 \times 979,6 \times 2,8^2 \times 83 \\ &= 637,445 \text{ kgm} = 6374450 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{6374450}{0,8 \times 1000 \times 125^2} = 0,51$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,51}{390}} \right) = 0,00132 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00132 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ maka dipakai $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0036 \times 1000 \times 125 = 450 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 150 \\ &\leq 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D10}} \\ &= \frac{450}{78,54} = 5,73 \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/6 = 166,67 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-150 mm.

- **Penulangan arah Y**

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\text{min}} = 0,002$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 115 = 230 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 150 \\ &\leq 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D10}}} \\ &= \frac{230}{78,54} = 2,93 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-300 mm.

4.2.1.9 Penulangan Stud Pelat Lantai

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan topping cor ditempat maka transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh topping cor ditempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka dipakai tulangan stud.

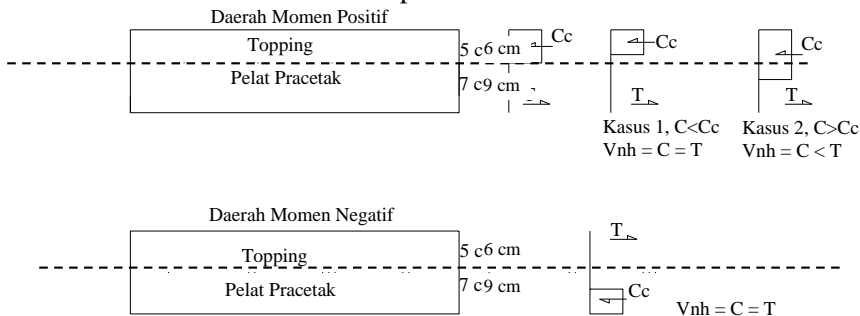
Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horisontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horisontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horisontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat

- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



Gambar 4. 5 Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

Perhitungan stud pelat 320 cm × 905 cm

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f_c' A_{\text{topping}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 60 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 1530000 \text{ N} = 1530 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipakai stud Ø8 mm

$$\text{As} = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,265 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= C = T \\ &= A_s \times f_y \\ &= 50,265 \times 240 = 12063,72 \text{ N} = 12,06 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\ &= 0,55 \times 1000 \times 125 \\ &= 68750 \text{ N} = 68,75 \text{ KN} \end{aligned}$$

Vnh < 0,55bv.d(OK)

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontak nya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,55b_v.d$ dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bila pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal,

luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$$S_{\text{maks}} = 4 \times 60 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

maka, $S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3:

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,0062 \sqrt{f'c} \frac{bw \times s}{f_y} \\ &= 0,062 \sqrt{30} \frac{1000 \times 150}{240} = 212,242 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_v \geq (0,35 b_w S) / f_y = (0,35 \times 1000 \times 150) / 240 = 218,75 \text{ mm}^2$$

maka, $A_{v_{\min}} = 218,75 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan Ø8 dengan $A_v = 50,265 \text{ mm}^2$

Maka dipasang stud (shear connector) Ø8-150 mm ($A_v = 335,103 \text{ mm}^2$).

4.2.1.10 Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang dipakai lebih besar dari tebal minimum pelat seperti yang disyaratkan SNI 03-2847-2013 Pasal 9.5.3, maka tidak perlu dilakukan control terhadap lendutan.

4.2.1.11 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 03-2847-2013 :

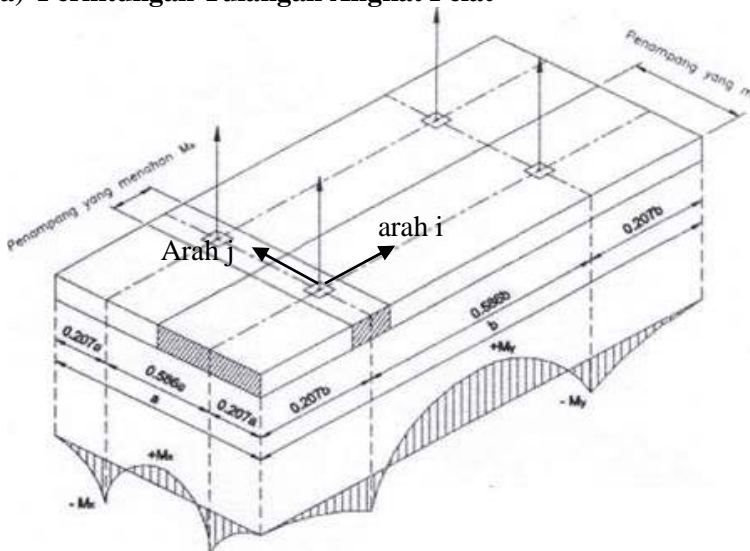
- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} = (0,24 f_y \sqrt{f'c}) / d_b$ (SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2)
 $= (0,24 \times 390 \times \sqrt{30}) / 10 = 51,27 \text{ mm}$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.

4.2.1.12 Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe C dengan dimensi 320 cm x 905 cm dengan empat titik pengangkatan (*four point pick up*).

a) Perhitungan Tulangan Angkat Pelat

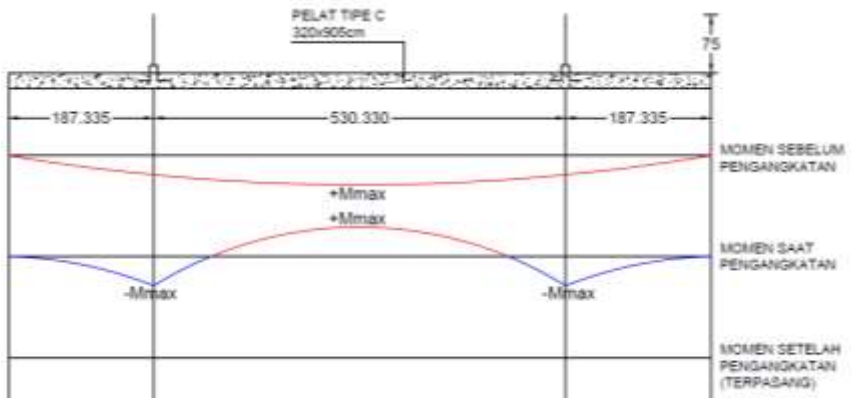


Gambar 4. 6 Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

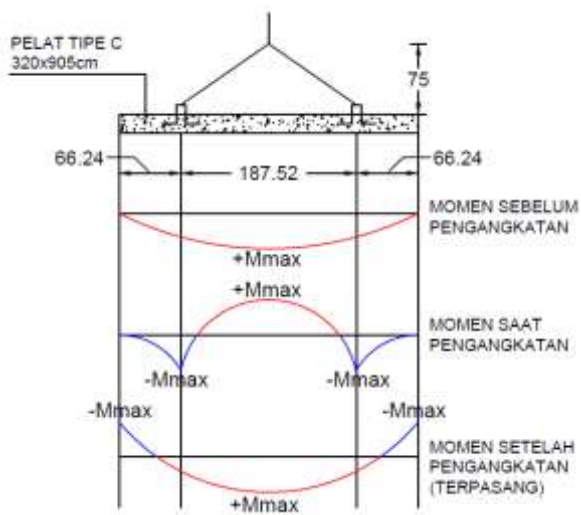
(Sumber: PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k = 1,2$) pada saat pengangkatan.
- $DL = 0,09 \times 3,2 \times 9,05 \times 2400 = 6255,36 \text{ kg}$

b) Pengangkatan Pelat Tipe C



Gambar 4. 7 Momen pengangkatan pelat arah i



Gambar 4. 8 Momen pengangkatan pelat arah j

Dalam hal ini dianggap ada 2 orang pekerja yang ikut serta diatas pelat untuk mengatur dan mengarahkan posisi pelat, maka $LL = 200 \text{ kg}$.

$$\text{Beban ultimate} = (1,2 \times 1,2 \times 6255,36) + (1,2 \times 1,6 \times 200) = 9391,72 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya angkat (Tu) setiap tulangan} = \frac{9391,72}{4} = 2347,93 \text{ kg}$$

Sesuai PBBBI pasal 2.2.2, tegangan tarik ijin baja

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{3900}{1,5} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka diameter tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 2347,93}{\pi \times 2600}} = 1,07 \text{ cm}$$

Maka dipasang tulangan angkat D13 mm

c) Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

f_{cr} untuk beton 28 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,84 \text{ MPa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,09 = 0,045 \text{ m}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992* momen maksimum diperhitungkan

Berdasarkan gambar diatas:

- Arah i sama dengan arah y
- Arah j sama dengan arah x

$$w = (t_{\text{pelat}} \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left(\frac{W_{\text{pekerja}}}{A_{\text{pelat}}} \right)$$

$$w = (0,09 \times 2400) + \left(\frac{200}{3,2 \times 9,05} \right) = 222,91 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} + M_x &= - M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 222,91 \times 3,2^2 \times 9,05 \\ &= 221,032 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + M_y &= - M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 222,91 \times 3,2 \times 9,05^2 \\ &= 625,105 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$P = \frac{9391,72}{4} = 2347,93 \text{ kg}$$

$$M_y = \left(\frac{P \times y_c}{tg \ 45} \right) = \left(\frac{2347,93 \times 0,045}{tg \ 45} \right) = 105,657 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = 105,657 + 625,105 = 730,762 \text{ kgm}$$

- M_y ditahan oleh penampang selebar $a/2 = 320/2 = 160 \text{ cm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 160 \times 9^2 = 2160 \text{ cm}^3$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_c'} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,84 \text{ MPa}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{730,762 \times 10^4}{2160 \times 10^3} = 3,38 \text{ Mpa} < f_r \text{Ok}$$

- M_x ditahan oleh penampang selebar $15t = 135 \text{ cm}$ atau $b/2 = 452,5 \text{ cm}$

Ambil terkecil = 135 cm

$$M_x = \left(\frac{P \times y_c}{tg \ 45} \right) = \left(\frac{2347,93 \times 0,045}{tg \ 45} \right) = 105,657 \text{ kgm}$$

$$M_{tot} = 105,657 + 221,035 = 326,688 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 135 \times 9^2 = 1822,5 \text{ cm}^3$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{326,688 \times 10^4}{1822,5 \times 10^3} = 1,793 \text{ Mpa} < f_r \text{Ok}$$

4.2.1.13 Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Tulangan Terpasang pada Pelat

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang		Stud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	panjang (m)	lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi			
A	2,75	9,05	D10-150	D10-300	Ø8-150	150	D13
B	3,2	9,05	D10-150	D10-300	Ø8-150	150	D13
C	2,1	5,5	D10-150	D10-300	Ø8-150	150	D13
D	2,1	8,7	D10-150	D10-300	Ø8-150	150	D13
E	2,75	7,85	D10-150	D10-300	Ø8-150	150	D13
F	3,8	7,85	D10-150	D10-300	Ø8-150	150	D13

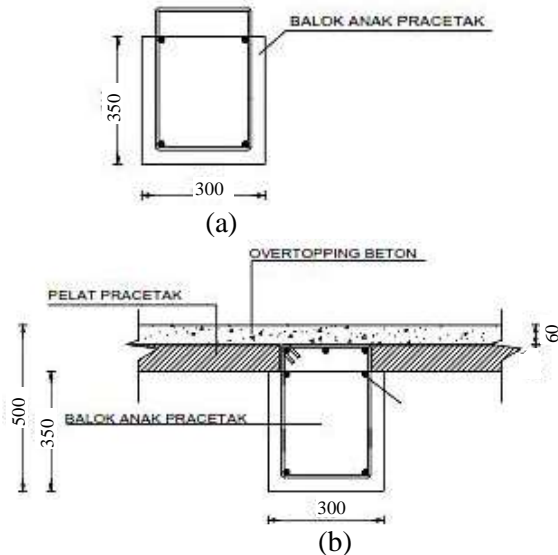
4.2.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada dibalok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

4.2.2.1 Data Perencanaan Balok Anak Pracetak

- Dimensi balok anak : 30×50 cm
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Mutu baja (f_y) : 390 MPa
- Tulangan lentur : D22
- Tulangan sengkang : $\emptyset 10$

Dalam perhitungan bab ini, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka tersapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.

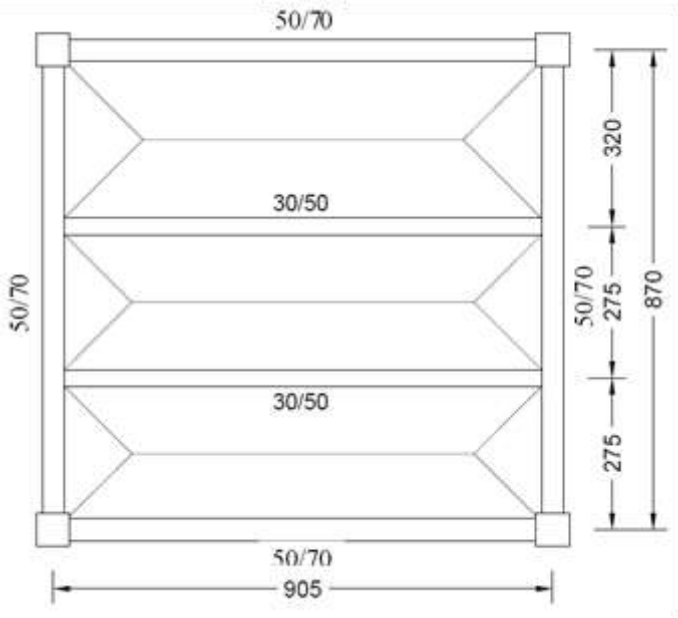


Gambar 4. 9 (a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit

4.2.2.2 Pembebanan Balok Anak Pracetak

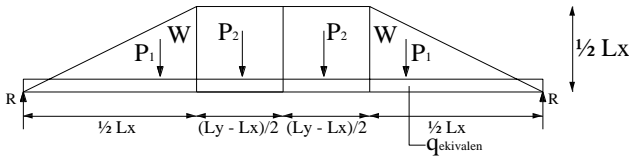
Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat). Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dapat dianggap sebagai beban trapesium pada lajur yang panjang.

Beban-beban berbentuk trapesium tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen untuk mendapatkan momen maksimumnya. Untuk mempermudah pemahaman pembebanan pada balok anak berikut disajikan gambar distribusi beban yang bekerja pada balok anak.



Gambar 4. 10 Distribusi Beban pada Balok Anak 30/50

Beban ekivalen trapesium



Beban Trapesium

$$W = \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$P_1 = \frac{1}{8} \times q \times Lx^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} (Ly - Lx) \times \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$R = P_1 + P_2$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (P_1 \times (\frac{1}{2} Ly - \frac{1}{3} Lx)) - (P_2 \times \frac{1}{4} (Ly - Lx))$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{2} P_2 \times Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{4} P_2 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) + (\frac{1}{4} P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) + (\frac{1}{24} \times q \times Lx^3) + (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{48} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2))$$

$$M_{eq} = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$M_{max} = M_{eq}$$

$$\frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2)) = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$q_{ek} = q \times \left(\left(\frac{1}{2} Lx \right) - \left(\frac{1}{6} \frac{Lx^3}{Ly^2} \right) \right)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

4.2.2.3 Perhitungan Pembebanan Balok Anak

➤ Sebelum Komposit

$$L_{x1} = 320 - (30/2 + 50/2) = 280 \text{ cm}$$

$$L_{x2} = 275 - (30/2 + 30/2) = 245 \text{ cm}$$

$$L_y = 905 - (50/2 + 50/2) = 855 \text{ cm}$$

- Beban mati (Q_{DL})

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,3 \times 0,35 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 252 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ pelat sebelum komposit} &= 0,09 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 216 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{sebelum komposit}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times L_{x1} \right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times L_{x2} \right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 216 \times 2,8 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 216 \times 2,45 \right) \\ &= 567 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Kombinasi beban

Q_u sebelum komposit

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times (252 + 567) + 1,6 \times 0 \\ &= 982,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

➤ Sesudah Komposit

- Beban mati (Q_{DL})

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,3 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ pelat sesudah komposit} &= 0,15 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sesudah komposit}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 360 \times 2,8 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,8}{8,55} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 360 \times 2,45 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,45}{8,55} \right)^2 \right) \right) \\
 &= 914,912 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban hidup (Q_{LL})

Beban pekerja = 200 kg/m²

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ekivalen}} &= \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx1 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx1}{Ly} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times q \times Lx2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{Lx2}{Ly} \right)^2 \right) \right) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,8 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,8}{8,55} \right)^2 \right) \right) + \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 2,45 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,45}{8,55} \right)^2 \right) \right) \\
 &= 508,285 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Kombinasi beban

Q_u sesudah komposit

$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$

$= 1,2 \times (360 + 914,912) + 1,6 \times 508,285$

$= 2343,15 \text{ kg/m}$

4.2.2.4 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.3.

➤ Momen sebelum komposit

$$\begin{aligned} M_{\text{lapanan}} &= \left(\frac{1}{8} \times q \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 982,8 \times 9,05^2 \right) \\ &= 10061,72 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \times (q \times L) \\ &= \frac{1}{2} \times (982,8 \times 9,05) \\ &= 4447,17 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ Momen sesudah komposit

$$\begin{aligned} M_{\text{tump}} &= \left(\frac{1}{16} \times q \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{16} \times 2343,15 \times 9,05^2 \right) \\ &= 11994,37 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lapanan}} &= \left(\frac{1}{10} \times q \times L^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{10} \times 2343,15 \times 9,05^2 \right) \\ &= 19190,99 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \times (q \times L) \\ &= \frac{1}{2} \times (2343,15 \times 9,05) \\ &= 10602,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.2.2.5 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

➤ **Perhitungan tulangan sebelum komposit**

Dimensi balok anak = 30/50
 Tebal selimut beton = 40 mm
 Diameter tulangan utama = 22 mm
 Diameter tulangan sengkang = 10 mm
 Mutu beton (f_c') = 30 MPa
 Mutu baja (f_y) = 390 Mpa
 $d = 350 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(22) = 289 \text{ mm}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,02475$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

Tulangan lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 10061,72 \text{ kgm} = 100617200 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{100617200}{0,8 \times 300 \times 289^2} = 5,02$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 5,02}{390}} \right) = 0,0145$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0145 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{S\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0145 \times 300 \times 289 = 1254,75 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{SD22}}$$

$$= \frac{1254,75}{380,13} = 3,33 \approx 4 \text{ buah}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D22}$$

$$= 4 \times 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 1520,53 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 4D22

➤ **Perhitungan tulangan sesudah komposit**

Dimensi balok anak	= 30/50
Tebal selimut beton	= 40 mm
Diameter tulangan utama	= 22 mm
Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 390 Mpa
$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(22)$	= 439 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,02475$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035\end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

Tulangan lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 19190,99 \text{ kgm} = 191909900 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{191909900}{0,8 \times 300 \times 439^2} = 4,15$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 4,15}{390}} \right) = 0,0117\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0117 > \rho_{\min} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0117 \times 300 \times 439 = 1538,58 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{SD22}}$$

$$= \frac{1538,58}{380,13} = 4,05 \approx 5 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D22} \\ &= 5 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{ OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 5D22

Tulangan tumpuan

$$M_{\text{lapangan}} = 11994,37 \text{ kgm} = 119943700 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{119943700}{0,8 \times 300 \times 439^2} = 2,59$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,59}{390}} \right) = 0,007 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,007 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,007 \times 300 \times 439 = 925,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{D22}}} \\ &= \frac{925,43}{380,13} = 2,43 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D22} \\ &= 3 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 1140,4 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{ OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D22

4.2.2.6 Perhitungan Tulangan Geser

➤ Perhitungan tulangan sebelum komposit

$$V_u = 4447,17 \text{ kg} = 44471,7 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 289 \\
 &= 79145,91 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \times 79145,91 \\
 &= 59359,43 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 59359,43 = 29679,72 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10 mm dengan mutu baja BJTP-240 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{44471,7}{0,75} \\
 &= 59295,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ Ø10} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 289}{59295,6} = 183,74 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih $d/2$ sepanjang komponen struktur, maka:

$$s \leq d/2$$

$$\leq 289/2 = 144,5 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis Ø10-125 mm.

➤ **Perhitungan tulangan sesudah komposit**

$$V_u = 10602,75 \text{ kg} = 106027,5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 439 \\ &= 120225,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 120225,1 \\ &= 90168,83 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 90168,83 = 45084,41 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10mm dengan mutu baja BJTP-240 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{106027,5}{0,75} \\ &= 141370,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ Ø10} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 439}{141370,1} = 117,07 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih $d/2$ sepanjang komponen struktur, maka:

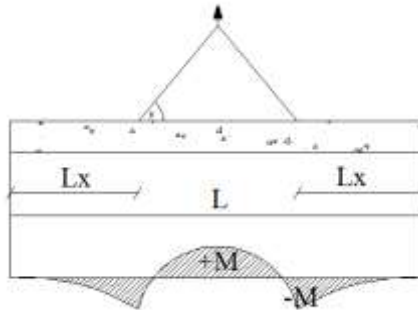
$$s \leq d/2$$

$$\leq 439/2 = 219,5 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis Ø10-100 mm.

4.2.2.7 Pengangkatan Balok Anak

Balok anak dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 4. 11 Momen saat pengangkatan balok anak

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Yb} \left(1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 35 \text{ cm}$$

$$L = 905 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{(35 - 15)}{2} = 10 \text{ cm}$$

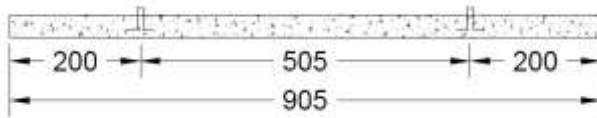
$$I = \frac{1}{12} \times 30 \times 35^3 = 107187,5 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 15 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 15}{905 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{10}{10} \left(1 + \frac{4 \times 15}{905 \times \tan 45^\circ} \right)} \right)} = 0,218$$

$$X \times L = 0,218 \times 905 = 197,95 \text{ cm} = 2 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 9,05 - 2 \times (2) = 5,05 \text{ m}$$



Gambar 4. 12 Letak titik pengangkatan

a. Pembebanan

$$\text{Balok } (0,3 \times 0,35 \times 9,05 \times 2400) = 2280,6 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} T \sin \phi = P &= \frac{1,2 \times k \times W}{2} \\ &= \frac{1,2 \times 1,2 \times 2280,6}{2} \\ &= 1642,032 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T = \frac{1642,032}{\sin 45^\circ} = 2322,184 \text{ kg}$$

b. Tulangan angkat balok anak

$$P_u = 2322,184 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang adalah $f_y/1,5$. Jika dipakai tulangan polos dengan mutu $f_y = 240 \text{ Mpa}$, maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 2400/1,5 = 1600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{Pu}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{2322,184}{1600 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,462 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan Ø8 mm

c. Momen yang Terjadi

- Pembebanan

$$\text{Balok } (0,3 \times 0,35 \times 2400) = 252 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- Momen lapangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+M = \left(\frac{252 \times 9,05^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,218 + \frac{4 \times 0,15}{9,05 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 592,4757 \text{ kgm}$$

d. Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{592,4757 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 350^2}$$

$$= 0,97 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f'c} = 3,83 \text{ MPa (OK)}$$

- Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{252 \times 0,218^2 \times 9,05^2}{2} \right) \times 1,2 = 592,4757 \text{ kgm}$$

Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{621,36 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 300 \times 350^2}$$

$$= 0,97 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

4.2.2.8 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03 – 2847 – 2013, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min} .

4.2.2.9 Penulangan Balok Anak yang Terpasang

Penulangan balok anak yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari kedua keadaan diatas (keadaan sebelum komposit dan sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Tulangan Terpasang Pada Balok Anak

Kode Balok Anak	L	b	h	Tulangan Lapangan		Tulangan Tumpuan		Sengkang
	mm	mm	mm	Atas	Bawah	Atas	Bawah	
BA1	9050	300	500	3D22	5D22	3D22	2D22	Ø10-100 mm
BA2	7850	300	500	2D22	4D22	3D22	2D22	Ø10-100 mm
BA3	2100	300	500	2D22	2D22	2D22	2D22	Ø10-125 mm

4.2.3 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

4.2.3.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan untuk merencanakan konstruksi tangga adalah sebagai berikut:

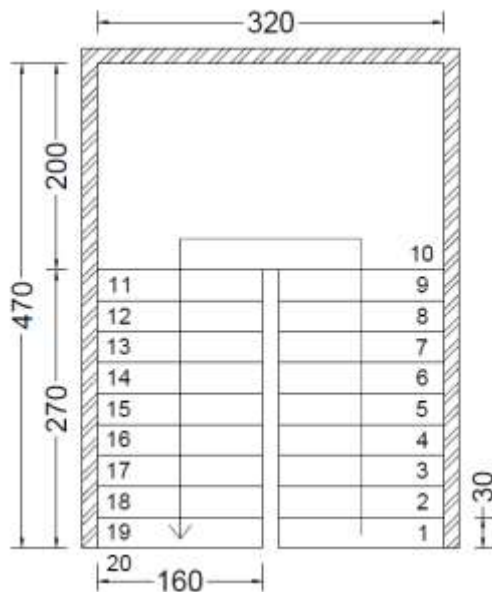
- Mutu beton (f_c') = 30 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 390 Mpa
- Tinggi antar lantai = 332,5 cm
- Panjang bordes = 200 cm
- Lebar bordes = 320 cm
- Lebar tangga = 160 cm
- Tebal pelat tangga (t_p) = 20 cm
- Tebal pelat bordes = 20 cm
- Tinggi injakan (t) = 17 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Jumlah tanjakan (n_T) = $\frac{\text{Tinggi lantai}}{t} = 20$ buah
- Jumlah injakan (n_i) = $n_T - 1 = 19$ buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 10 buah
- Jumlah tanjakan dari bordes ke lantai 2 = 10 buah
- Elevasi bordes = 166 cm
- Panjang horizontal plat tangga = $i \times \text{jumlah injakan bordes}$
 $= 30 \times 9 = 270$ cm
- Kemiringan tangga (α)

$$\tan \alpha = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horisontal plat tangga}} = \frac{166}{270} = 0,615$$

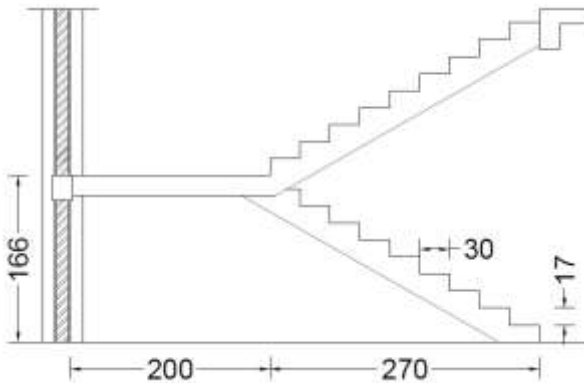
Jadi, $\alpha = 31,6^\circ$

Cek syarat :

- $60 \leq (2t + i) \leq 65$
 $60 \leq (2 \times 17 + 30) \leq 65$
 $60 \leq 64 \leq 65 \dots \dots \dots (\text{OK})$
- $25 \leq \alpha \leq 40$
 $25 \leq 31,6^\circ \leq 40 \dots (\text{OK})$
- Tebal plat rata-rata anak tangga = $(i/2) \sin \alpha$
 $= (30/2) \sin 31,6^\circ$
 $= 7,86 \text{ cm}$
- Tebal plat rata-rata = $t_p + t_r = 20 + 7,86$
 $= 27,86 \text{ cm} \approx 28 \text{ cm}$



Gambar 4. 13 Perencanaan tangga tampak atas



Gambar 4. 14 Potongan tangga

4.2.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

a. Pembebanan Tangga

Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,28}{\cos 31,6^\circ} \times 2400 = 789 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel horizontal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel vertikal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi horizontal (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi vertikal (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sandaran} = 50 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total (DL)} = 971 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Hidup (LL): } 1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban:

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 (9) + 1,6 (500)$$

$$= 1965,2 \text{ kg/m}$$

b. Pembebanan Pelat Bordes

Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat bordes} = 0,2 \times 2400 \times 1 \text{ m} = 480 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi} = 2 \times 21 \times 1 \text{ m} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{lll} \text{Tegel} & = 24 \times 1 \text{ m} & = 24 \text{ kg/m} + \\ & \text{Total (LL)} & = 546 \text{ kg/m} \end{array}$$

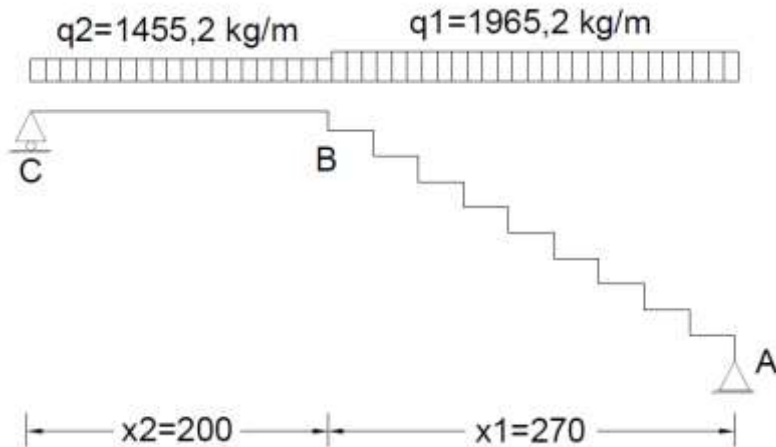
Beban Hidup (LL): $1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (546) + 1,6 (500) \\ &= 1455,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

4.2.3.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini :



Gambar 4. 15 Sketsa beban pada tangga

- $\sum M_A = 0$
 $(RC \times 4,7) - (q_2 \times 2 \times (1 + 2,7)) - (q_1 \times 2,7 \times 1,35) = 0$
 $(RC \times 4,7) - 10768,48 - 7163,154 = 0$
 $RC = 3815,241 \text{ kg}$
- $\sum M_C = 0$

$$(R_A \times 4,7) - (q_2 \times 2 \times 1) - (q_1 \times 2,7 \times (1,35 + 2)) = 0$$

$$(R_A \times 4,7) - 2910,4 - 17775,23 = 0$$

$$R_A = 4401,199 \text{ kg}$$

- $\sum H = 0$

$$H_A = 0$$

Kontrol

- $\sum V_A = 0$

$$R_A + R_C - (q_2 \times 2) - (q_1 \times 3) = 0$$

$$4401,199 + 3815,241 - (1455,2 \times 2) - (1965,2 \times 3) = 0$$

$$0 = 0 \dots\dots (\text{OK})$$

Pelat Bordes C-B (2 m)

a. Gaya Momen (M)

$$M_{x_1} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$M_C = 0$$

$$M_B = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

$$\begin{aligned} M_B &= 3815,241 \times 2 - \frac{1}{2} \times 1455,2 \times 2^2 \\ &= 4720,083 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$\text{Titik C} \quad D_{C \text{ kanan}} = R_C = 3815,241 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B} \quad D_{B \text{ kiri}} = R_C - (q_2 \times 2) = 904,841 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

$$N_{C-B} = 0 \text{ kg}$$

Pelat A-B (2,7 m)

a. Gaya Momen (M)

$$M_{x_1} = R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$$

Momen maksimum apabila :

$$\frac{\sum M_{x_1}}{\sum X_1} = 0$$

$$R_A - q_1 \times x = 0$$

$$x = \frac{R_A}{q_1} = \frac{4401,199}{1965,2} = 2,24 \text{ m} < 2,7 \text{ m}$$

Momen maksimum terjadi di titik $x = 2,24 \text{ m}$

$$M_{\max} = R_A \times x - \frac{1}{2} q_1 \times x^2$$

$$= 4401,199 \times 2,24 - \frac{1}{2} \times 1965,2 \times 2,24^2$$

$$= 4928,392 \text{ kgm}$$

Titik A, $M_A = 0 \text{ kgm}$

$$M_B = R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$$

$$= 4401,199 \times 2,7 - \frac{1}{2} \times 1965,2 \times 2,7^2$$

$$= 4720,083 \text{ kgm}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$D_x = R_A \times \cos 31,6^\circ - (q_1 \cos 31,6^\circ \times x_1)$$

$$\text{Titik A } (X_1 = 0) ; D_A = R_A \times \cos 31,6^\circ = 3748,619 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B } (X_1 = 3\text{m}) ; D_B = -770,678 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

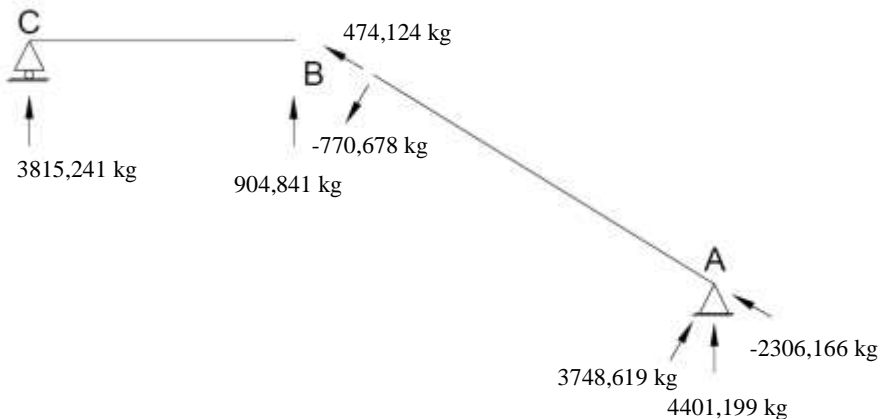
$$\text{Titik A: } N_A = -R_A \sin 31,6^\circ = -4401,199 \times \sin 31,6^\circ$$

$$N_A = -2306,166 \text{ kg}$$

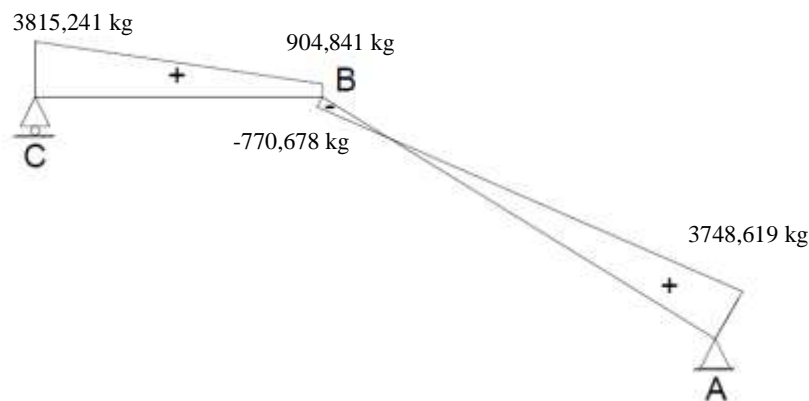
$$\text{Titik B: } N_B = -R_A \sin 31,6^\circ + q_1 \sin 31,6^\circ \times 2,7 \text{ m}$$

$$N_B = -4401,199 \sin 31,6^\circ + 1965,2 \sin 31,6^\circ \times 2,7$$

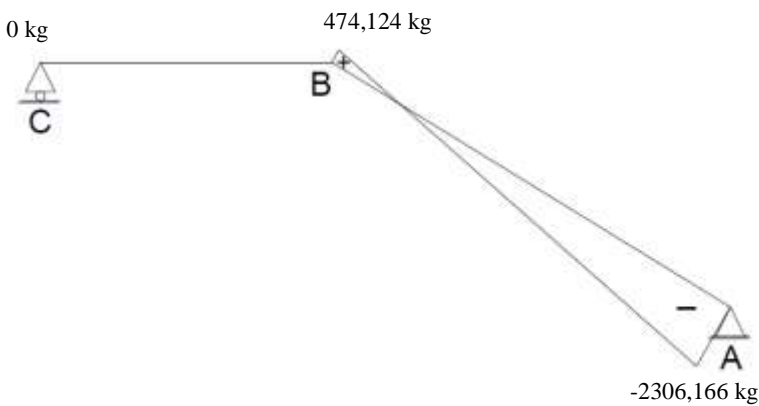
$$N_B = 474,124 \text{ kg}$$



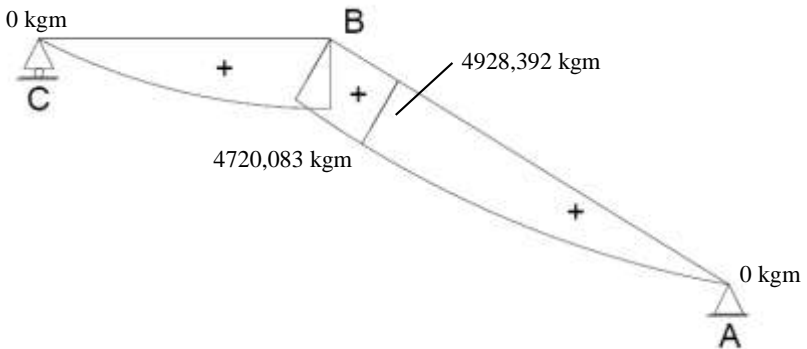
Gambar 4. 16 Free body diagram gaya-gaya pada tangga



Gambar 4. 17 Bidang lintang (D) pada tangga



Gambar 4. 18 Bidang normal (N) pada tangga



Gambar 4. 19 Bidang momen (M) pada tangga

4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

▪ Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data – Data Perencanaan

Mutu beton (f'_c) = 30 MPa

Mutu baja (f_y) = 390 MPa

Berat jenis beton = 2400 kg/m³

D tulangan lentur = 13 mm

Tebal pelat tangga = 200 mm

Tebal pelat bordes = 200 mm

Tebal selimut beton = 20 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,02475$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$d = 200 - 20 - (0,5 \times 13) = 173,5 \text{ mm}$$

Penulangan pelat tangga

➤ Tulangan utama

$$M_{\max} = 4928,392 \text{ kgm} = 49283916 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{49283916}{0,8 \times 1000 \times 173,5^2} = 2,05$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,05}{390}} \right) = 0,00548$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00548 > \rho_{\min} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00548 \times 1000 \times 173,5 = 950,24 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times$ tebal pelat, maka:

$$S \leq 3 \times 200$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D13}}}$$

$$= \frac{950,24}{132,732} = 7,2 \approx \text{dipakai 8 buah}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/8 = 125 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots (\text{OK})$
Maka digunakan tulangan lentur D13-125 mm.

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\text{min}} = 0,002$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 173,5 = 347 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 200 \\ &\leq 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D13}}} \\ &= \frac{347}{132,732} = 2,61 \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots (\text{OK})$
Maka digunakan tulangan susut D13-300 mm.

Penulangan pelat bordes

➤ Tulangan utama

$$M_{\text{max}} = 4720,083 \text{ kgm} = 47200826 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 1000 \times d^2} = \frac{47200826}{0,8 \times 1000 \times 173,5^2} = 1,96$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,96}{390}} \right) = 0,0052 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0052 < \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0052 \times 1000 \times 173,5 = 908,32 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan utama $\leq 3 \times \text{tebal pelat}$, maka:

$$\begin{aligned}
 S &\leq 3 \times 200 \\
 &\leq 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D13}}} \\
 &= \frac{908,32}{132,732} = 6,8 \approx \text{dipakai 7 buah}
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/7 = 142,86 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{(OK)}$

Maka digunakan tulangan lentur D13-125 mm.

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\text{min}} = 0,002$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 173,5 = 347 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum, $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$, maka:

$$\begin{aligned}
 &\leq 5 \times 200 \\
 &\leq 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D13}}} \\
 &= \frac{347}{132,732} = 2,61 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan, $S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{(OK)}$

Maka digunakan tulangan susut D13-300 mm.

- Perencanaan dimensi balok bordes

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L = \frac{1}{16} \times 320 = 20 \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 20 = 13,33 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Dipakai dimensi balok bordes 20/30

- Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,2 \times 0,3 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 1,665 \times 250 = 416,25 \text{ kg/m} +$$

$$q_d = 560,25 \text{ kg/m}$$

$$q_d \text{ ultimate} = 1,2 \times q_d = 1,2 \times 560,25 = 672,3 \text{ kg/m}$$

$$\text{beban pelat bordes} = 3815,24 \text{ kg/m} +$$

$$q_u = 4487,54 \text{ kg/m}$$

$$\text{Momen tumpuan} = \frac{1}{24} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{24} \times 4487,54 \times 3,2^2$$

$$= 1914,6843 \text{ kgm}$$

$$= 19146843 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen lapangan} = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 4487,54 \times 3,2^2$$

$$= 3829,3686 \text{ kgm}$$

$$= 38293686 \text{ Nmm}$$

$$V_u \text{ total} = 0,5 \times q_u \times L = 0,5 \times 4487,54 \times 3,2 = 7180,07 \text{ kg}$$

- Penulangan Lentur Balok Bordes

Direncanakan:

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } d = 300 - 40 - 10 - 16/2 = 242 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,02475$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035\end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

➤ Penulangan Tumpuan

$$M_{\max} = 19146843 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{19146843}{0,8 \times 200 \times 242^2} = 2,04$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,04}{390}} \right) = 0,0055\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0055 > \rho_{\min} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0055 \times 200 \times 242 = 264,65 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{264,65}{201,06} = 1,32 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan tumpuan atas 2 D16

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ perlu} &= 0,5 \times A_{s_{\text{perlu}}} \\ &= 0,5 \times 264,65 \text{ mm}^2 \\ &= 132,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}} \\ &= \frac{132,33}{201,06} = 0,66 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

digunakan tulangan tumpuan bawah 2 D16

➤ Penulangan Lapangan:

$$M_{\text{lapangan}} = 38293686 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{38293686}{0,8 \times 200 \times 242^2} = 4,09$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 4,09}{390}} \right) = 0,0115 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0115 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0115 \times 200 \times 242 = 556,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D16}}}$$

$$= \frac{556,02}{201,06} = 2,77 \approx \text{dipakai 3 buah}$$

Maka digunakan tulangan lapangan bawah 3 D16

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &= 0,5 \times A_{s\text{perlu}} \\ &= 0,5 \times 556,02 \text{ mm}^2 \\ &= 278,01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D16}} \\ &= \frac{278,01}{201,06} = 1,38 \approx \text{dipakai 2 buah} \end{aligned}$$

digunakan tulangan lentur 2 D16

- Penulangan Geser Balok Bordes

$$V_u = 71800,7 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 200 \times 242 = 44182,953 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 44182,953 = 33137,215 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 33137,215 = 16568,607 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 200 \times 242 = 88365,91 \text{ N}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5(5.1): Bila V_u kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton ϕV_c , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena $\phi V_c < V_u < \phi(V_c + V_{s \text{ min}})$ maka diperlukan tulangan geser.

$$V_s \text{ perlu} = \left(\frac{V_u}{\phi} \right) - V_c = 51551,26 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser Ø10 mm

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.4 ketentuan jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 242}{51551,26} = 176,97 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat } s < \frac{d}{2} = \frac{242}{2} = 121 \text{ mm}$$

Pasang Ø10 – 100 mm

4.2.4 Perencanaan Balok Lift

4.2.4.1 Data Perencanaan

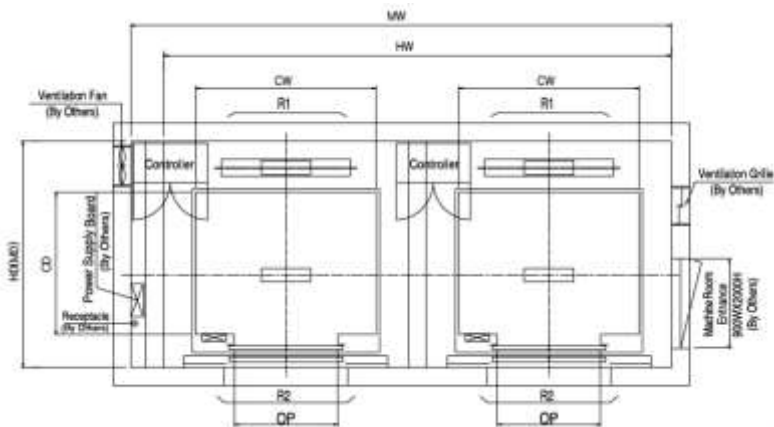
Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh SIGMA Elevator Company dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Lift	: IRIS NV Standard
Kapasitas	: 1000 Kg
Kecepatan	: 1.0 m/s
Motor	: 18.5 KW
Lebar pintu (<i>opening width</i>)	: 1100 mm
Dimensi sangkar (<i>car size</i>)	
- <i>Car wide</i> (CW)	: 2150 mm
- <i>Car depth</i> (CD)	: 1600 mm
Dimensi ruang luncur (<i>hoistway size</i>) Duplex	
- <i>Hoistway width</i> (HW)	: 5550 mm
- <i>Hoistway depth</i> (HD)	: 2300 mm
Beban reaksi ruang mesin	
R ₁	: 10200 kg
R ₂	: 7000 kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel 4.5:

Tabel 4. 5 Spesifikasi C300 Passenger Elevator

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Holdway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pa	
	Persons	Loading		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MH	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3000	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1050	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	3000	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4900
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2250	2200	4850	2200	2150	2200	4850	2200	8000	5200	8550	7150
	20	1350	1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050	8900	6000	10200	7500
		1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400					
	24	1600	1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200	10200	7000	10950	8700
				2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450				
			2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300					

**Gambar 4. 20** Denah Lift

4.2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift

▪ Balok Penumpu Depan dan Belakang

Panjang balok penumpu = 785 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 785 \text{ cm} = 49,06 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 49,06 = 32,7 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 50/70 cm

▪ **Balok Penggantung Lift**

Panjang balok penggantung lift = 275 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 275 \text{ cm} = 17,18 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 17,18 = 11,46 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok 30/50 cm

4.2.4.3 Pembebanan Lift

1. Beban yang bekerja pada balok penumpang

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapan.

2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut:

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana:

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

v = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

k_1 = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah:

$$P = \sum R \times \Psi = (10200 + 7000) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ = 30616 \text{ kg}$$

4.2.4.4 Balok Penggantung Lift 30/50

a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = \underline{30 \text{ kg/m}^2} + \\ = 408 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 408 \times 2,3 \text{ m} = 938,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,3 \times 0,5 \times 2400 = \underline{360 \text{ kg/m}} + \\ Q_d = 1298,4 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup (q_1):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_L \\ = 1,2 \times 1298,4 + 1,6 \times 100 \\ = 1718,08 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat lift $P = 30616 \text{ kg}$

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\ = \frac{1}{2} \times 1718,08 \times 2,75 + \frac{1}{2} \times 30616 \\ = 17670,36 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} pL \\
 &= \frac{1}{8} \times 1718,08 \times 2,75^2 + \frac{1}{4} \times 30616 \times 2,75 \\
 &= 22672,62 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Data Perencanaan:

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D22 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \emptyset 13 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 500 - 40 - 13 - \frac{1}{2} 22 = 436 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,02475$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035
 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

b. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{226726225}{0,8 \times 300 \times 436^2} = 4,97$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 4,97}{390}} \right) = 0,0143 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0143 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0143 \times 300 \times 436 = 1871,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} n \text{ tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ D22}} \\ &= \frac{1871,48}{380,13} = 4,92 \approx \text{dipakai 5 buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 5 D22 (1900,66 mm²)

c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 17670,36 \text{ kg} = 176703,6 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 436 \end{aligned}$$

$$= 119403,5 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 119403,5$$

$$= 89552,64 \text{ N}$$

$$\phi V_{s \text{ min}} = 0,75 \times 1/3 \times 300 \times 436$$

$$= 32700 \text{ N}$$

$$\phi(V_c + V_{s \text{ min}}) = 122252,6382 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
& \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b w \times d \right) \\
& = 0,75 \left(119403,5 + \frac{1}{3} \sqrt{30} \times 300 \times 436 \right) \\
& = 268657,9 \\
& \phi(V_c + V_{s \text{ min}}) < V_u < \phi \left(V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b w \times d \right)
\end{aligned}$$

Maka perlu tulangan geser

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = V_u - \phi V_c$$

$$\phi V_{s \text{ perlu}} = 176703,6 - 89552,64 = 87150,96 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ perlu}} = 116201,3 \text{ N}$$

$$\text{Syarat } s_{\text{max}} < d/2 = 436/2 = 218 \text{ mm dan } s_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 256,46 \text{ mm}^2$$

Pasang D13 – 200 mm

Kontrol V_s

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{256,46 \times 390 \times 436}{200} = 225698 \text{ N} > V_u$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 5D22
- Tulangan geser D13 – 200 mm

4.2.4.5 Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 50/70

a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
\text{Ducting + Plumbing} &= 30 \text{ kg/m}^2 + \\
&= 408 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

$$Q = 408 \times 2,75/2 \text{ m} = 561 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Akibat balok} &= 0,5 \times 0,7 \times 2400 = 840 \text{ kg/m} + \\
Q_d &= 1401 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

Beban Hidup (q_1):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_L \\ &= 1,2 \times 1401 + 1,6 \times 100 \\ &= 1841,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban terpusat balok

$$\begin{aligned} P &= \sum R \times \Psi = (10200) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 18156 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} \times 1841,2 \times 7,85 + \frac{1}{2} \times 18156 \\ &= 16304,71 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL \\ &= \frac{1}{8} \times 1841,2 \times 7,85^2 + \frac{1}{4} \times 18156 \times 7,85 \\ &= 49813,57 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Data Perencanaan:

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D22 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = D13 \text{ mm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$d = 700 - 40 - 13 - \frac{1}{2} 22 = 636 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,02475$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035\end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

d. Perhitungan Tulangan Lentur

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{498135683\text{g}}{0,8 \times 500 \times 636^2} = 3,08$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 3,08}{390}} \right) = 0,0084\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0084 > \rho_{\min} = 0,0036$ sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0084 \times 500 \times 636 = 2683,53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned}n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D22}} \\ &= \frac{2683,53}{380,13} = 7,06 \approx \text{dipakai 8 buah}\end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan 8 D22 (3041,06 mm²)

e. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 16304,71 \text{ kg} = 163047,1 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 500 \times 636$$

$$= 290293 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 290293$$

$$= 217719,7 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$\text{Maka, } \phi V_s \text{ perlu} = \phi V_{s \min} = \phi \frac{1}{3} b_w d$$

$$\phi V_{s \min} = 0,75 \times \frac{1}{3} \times 500 \times 636$$

$$= 435439,43 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = 580585,911 \text{ N}$$

$$\text{Syarat } s_{\max} < d/2 = 636/2 = 318 \text{ mm dan } s_{\max} < 600 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 256,46 \text{ mm}^2$$

Pasang $\phi 13 - 300 \text{ mm}$

Kontrol V_s

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{256,46 \times 390 \times 636}{300} = 219486,1 \text{ N} > V_u$$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penumpu depan dan belakang digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 8D22
- Tulangan geser D13 – 300 mm

4.3 Pemodelan Struktur**4.3.1 Umum**

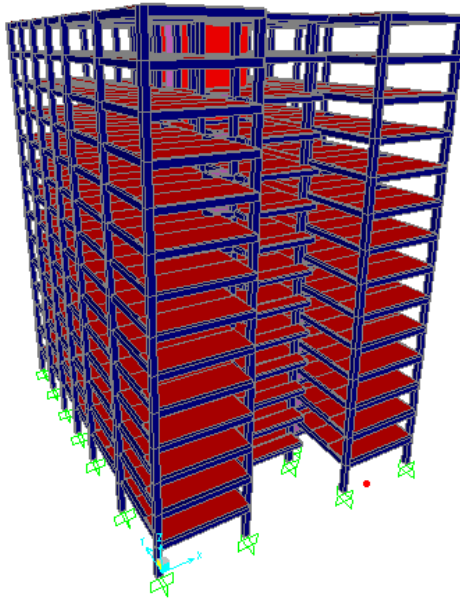
Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi

mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.2 Data-Data Perencanaan

Data-data perancangan gedung tower C apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan adalah sebagai berikut:

Mutu beton (f_c')	: 30 Mpa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 390 Mpa
Fungsi bangunan	: Hunian
Jumlah tingkat	: 14 Lantai
Tinggi tiap tingkat	: 3,325 meter
Tinggi bangunan	: + 46,55 meter
Dimensi balok induk	: 50/70 cm ²
Dimensi balok anak	: 30/50 cm ²
Dimensi kolom	: 70/70 cm ²
Zona gempa	: Tinggi



Gambar 4. 21 Permodelan 3D Struktur Utama

4.3.3 Perhitungan Berat Struktur

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh rangka. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

• Pembebanan gravitasi pada lantai 1-13

Beban Mati (DL)

Rangka + Plafond	= 18	= 18 kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	= 42 kg/m ²
Tegel (2 cm)	= 2 x 24	= 48 kg/m ²
Sanitasi	= 20	= 20 kg/m ²
Plumbing Ducting	= 10	= 10 kg/m ² +
		DL= 138 kg/m ²

• Pembebanan Pada Atap

Beban Mati (DL)

Rangka +Plafond	= 18	= 18 kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	= 42 kg/m ²
Aspal	= 14	= 14 kg/m ²
Plumbing Ducting	= 10	= 10 kg/m ² +
		DL= 84 kg/m ²

• Beban Hidup (LL)

Berdasarkan RSNI 03-1727-2013 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\text{Beban hidup lantai} = 0,8 \times 250 = 200 \text{ kg.}$$

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk mengecek apakah perhitungan struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya geser nya sudah mencapai 80% gaya geser statik.

Pada tugas akhir ini perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 untuk kombinasi 1D+1L.

4.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 03-1729-2012 bangunan tahan gempa sebagai berikut:

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ey
- 1,0 DL + 1,0 LL
- 0,9 DL + 1,0 Ex
- 0,9 DL + 1,0 Ey

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

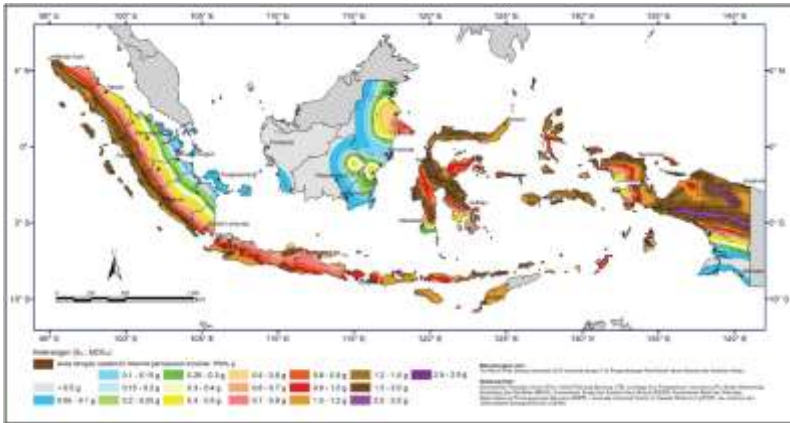
Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

4.3.5 Analisa Beban Gempa

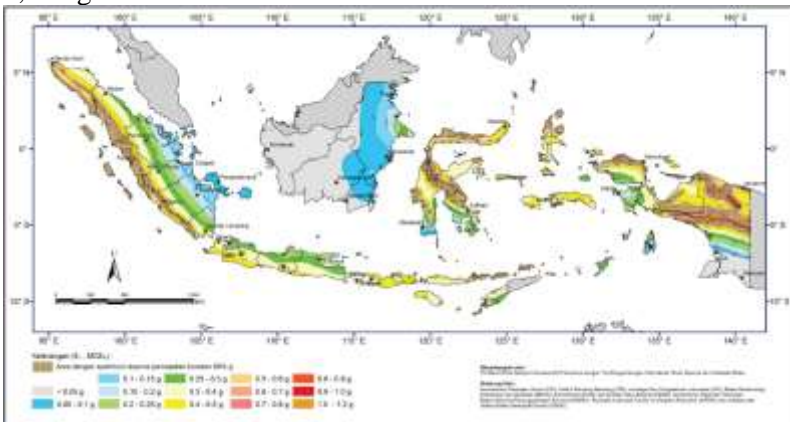
4.3.5.1 Percepatan Respon Spektrum (MCE)

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23



Gambar 4. 22 Peta untuk menentuka harga S_s

Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SB. Dari gambar 4.22 untuk daerah Jakarta didapatkan nilai $S_s = 0,686$ g.



Gambar 4. 23 Peta untuk menentukan harga S_1

Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan

respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SB. Dari gambar 4.23 untuk wilayah Jakarta $S_1 = 0,3$ g.

Untuk nilai F_a (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan F_v (koefisien situs untuk periode 1 detik) yang didapat dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4. 6 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode Pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Tabel 4. 7 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Dari data diatas diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_s = 0,686$$

$$S_1 = 0,3$$

$$F_a = 1,329 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$F_v = 2,8$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-1})$$

$$= 1,329 \times 0,686$$

$$= 0,911$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-2})$$

$$= 2,8 \times 0,3$$

$$= 0,84$$

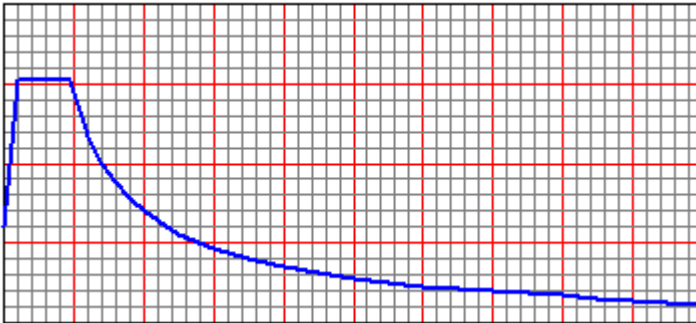
4.3.5.2 Parameter Percepatan Respons Spektral

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,911 = 0,607$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-3)

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,84 = 0,56$$

(SNI 03-1726-2012 Pers. 6.2-4)



Gambar 4. 24 Grafik Respon Spectrum Daerah Surabaya

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di daerah kota Surabaya yang mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen sebesar $S_{DS} = 0,607$ dan

parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh situs $S_{DI} = 0,56$. Berdasarkan tabel 4.8 dan tabel 4.9 maka didapat kategori kota Surabaya mempunyai kategori resiko D.

Tabel 4. 8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726 2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.

4.3.6 Pembebanan Gempa Dinamis

Perhitungan beban gempa pada struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 03-1726-2012. Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

4.3.6.1 Arah pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X :
100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y :
100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

4.3.6.2 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan dengan sistem rangka beton pracetak pemikul momen menengah. Berdasarkan tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5 nilai koefisien modifikasi respon (R) = 6,5 dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω) = 2,5

4.3.6.3 Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan perkantoran. Pada tabel 1 SNI 03-1726-2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai $I = 1$.

4.3.7 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut:

- Kontrol partisipasi massa.
- Kontrol periode getar struktur.
- Kontrol nilai akhir respon spektrum.
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

4.3.7.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.10 berikut:

Tabel 4. 10 Modal rasio partisipasi massa

OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1	1,497814	0,023	4,699E-19
MODAL	2	1,260577	0,747	4,73E-19
MODAL	3	1,160352	0,747	0,76
MODAL	4	0,47847	0,751	0,76
MODAL	5	0,378392	0,877	0,76
MODAL	6	0,356274	0,877	0,88
MODAL	7	0,267245	0,878	0,88

MODAL	8	0,194987	0,923	0,88
MODAL	9	0,187855	0,923	0,925
MODAL	10	0,179882	0,925	0,925

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 92,5% pada moda ke 10 dan partisipasi massa arah Y sebesar 92,5% pada moda ke 9. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-03-1726-2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

4.3.7.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, periode fundamental struktur harus ditentukan dari:

$$T = C_t \times h_n^x$$

Koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 6.5 SNI 03-1726-2012.

Tabel 4. 11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

TipeStruktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Tabel 4. 12 Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$$T_x = 0,0466 (46,55 \text{ m})^{0,9} = 1,477 \text{ s}$$

$$T_y = 0,0466 (46,55 \text{ m})^{0,9} = 1,477 \text{ s}$$

Dengan $S_{D1} = 0,56$ maka didapatkan koefisien $C_u = 1,4$

$$T = T_a \times C_u = 1,477 \times 1,4 = 2,068 \text{ s}$$

Tabel 4. 13 Modal Periode dan Frekusensi Struktur

OutputCase	StepType	StepNum	Period
Text	Text	Unitless	Sec
MODAL	Mode	1	1,497814
MODAL	Mode	2	1,260577
MODAL	Mode	3	1,160352
MODAL	Mode	4	0,47847
MODAL	Mode	5	0,378392
MODAL	Mode	6	0,356274
MODAL	Mode	7	0,267245
MODAL	Mode	8	0,194987
MODAL	Mode	9	0,187855
MODAL	Mode	10	0,179882

T terbesar yang didapat dari analisis SAP = 1,497814 s, maka:

$$1,497814 < T_a.C_u$$

$$1,497814 < 1,477 \times 1,4$$

$$1,497814 < 2,068 \text{ OK}$$

4.3.7.3 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah:

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.1})$$

Dimana:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{6,5}{1}\right)} = 0,0934$$

Dan nilai C_s tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,56}{1,497814 \times \left(\frac{6,5}{1}\right)} = 0,05752$$

Dan nilai C_s tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,5 \times 0,3}{\left(\frac{6,5}{1}\right)} = 0,0231$$

Maka nilai C_s diambil 0,05752

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty adalah:

Tabel 4. 14 Reaksi Dasar Struktur

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Kgf	Kgf	Kgf
1.4D	-1,572E-07	-2,602E-07	17170572,4
1.2D + 1.6L	-2,099E-07	-5,325E-07	24643486,81

1.2D + 1.0L + 1.0EX	962045,42	324785,51	23103738,14
1.2D + 1.0L + 1.0EX	-962045,42	-324785,51	23087248,67
1.0D + 1.0L	-1,685E-07	-0,000000417	19676242,67
1.2D + 1.0L + 1.0EY	276362,74	1036572,49	23121806,97
1.2D + 1.0L + 1.0EY	-276362,74	-1036572,49	23069179,84
0.9D + 1.0EX	962045,42	324785,51	15394873,04
0.9D + 1.0EX	-962045,42	-324785,51	15378383,57
0.9D + 1.0EY	276362,74	1036572,49	15412941,87
0.9D + 1.0EY	-276362,74	-1036572,49	15360314,74

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah 17798672,64 kg. Maka:

$$\begin{aligned}
 V_{statik} &= C_s \times W \\
 &= 0,05752 \times 19676242,67 \\
 &= 1131772 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

Beban Gempa	Global FX	Global FY
Text	Kgf	Kgf
GEMPA X	921146,52	310978,09
GEMPA Y	276362,74	1036572,49

Kontrol:

- Untuk gempa arah X:

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$921146,52 \geq 85\% \times 1131772$$

$$921146,52 < 962006,2 \text{ kg (Not OK)}$$

- Untuk gempa arah Y:

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$1036572,49 \geq 85\% \times 1131772$$

$$1036572,49 > 962006,2 \text{ kg (OK)}$$

Dari kontrol di atas, analisis struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty untuk gempa arah X masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada Pasal 11.1.4 SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala $0,85 \times \frac{C_s \times W}{V}$

- Untuk gempa arah X:

$$0,85 \times \frac{0,05752 \times 19676242,67}{921146,52} = 1,0444$$

Setelah dikali faktor skala di atas didapatkan gaya geser dasar sebagai berikut:

Tabel 4. 16 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala

Beban Gempa	Global FX	Global FY
Text	Kgf	Kgf
GEMPA X	962045,42	324785,51
GEMPA Y	276362,74	1036572,49

Kontrol:

- Untuk gempa arah X:

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$962045,42 \geq 85\% \times 1131772$$

$$962045,42 < 962006,2 \text{ kg (OK)}$$

- Untuk gempa arah Y:

$$V_{dinamik} \geq 85\% V_{Statik}$$

$$1036572,49 \geq 85\% \times 1131772$$

$$1036572,49 > 962006,2 \text{ kg (OK)}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty sudah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.8.

4.3.7.4 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus:

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana:

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1:

$$\Delta_1 = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I}$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2:

$$\Delta_2 = \delta_{e2} - \delta_{e1} \times \frac{C_d}{I}$$

Dimana:

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I = Faktor keutamaan gedung

Untuk sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus, dari tabel 9 SNI 03-1726-2012 didapatkan nilai $C_d = 5$ dan dari tabel 2 SNI 03-1726-2012 didapat nilai $I = 1$. Dari tabel 16

SNI 03-1726-2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya adalah:

$$\Delta_a = 0,02 \times h_{sx}$$

Dimana:

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

- Untuk tinggi tingkat 3,325 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\Delta_a = 0,02 \times 3,325$$

$$= 0,0665 \text{ m}$$

$$= 66,5 \text{ mm}$$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 17 Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi Akibat Beban

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Zi	Simpangan		Simpangan	
	(m)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
Atap	46,55	44,973	13,832	12,919	34,096
13	43,225	43,012	13,361	12,356	32,758
12	39,9	40,720	12,774	11,697	31,222
11	36,575	38,088	12,063	10,941	29,396
10	33,25	35,103	11,224	10,084	27,268
9	29,925	31,783	10,263	9,130	24,850
8	26,6	28,164	9,189	8,091	22,168
7	23,275	24,300	8,017	6,980	19,260
6	19,95	20,256	6,767	5,819	16,176
5	16,625	16,119	5,464	4,631	12,978
4	13,3	11,999	4,138	3,447	9,749
3	9,975	8,042	2,833	2,310	6,602

2	6,65	4,456	1,614	1,280	3,705
1	3,325	1,552	0,582	0,446	1,320
0	0	0	0	0	0

Tabel 4. 18 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	46,55	44,973	1,961	7,844	66,5	OK
13	43,225	43,012	2,292	9,169	66,5	OK
12	39,9	40,720	2,632	10,528	66,5	OK
11	36,575	38,088	2,985	11,939	66,5	OK
10	33,25	35,103	3,320	13,280	66,5	OK
9	29,925	31,783	3,619	14,474	66,5	OK
8	26,6	28,164	3,865	15,459	66,5	OK
7	23,275	24,300	4,043	16,174	66,5	OK
6	19,95	20,256	4,137	16,547	66,5	OK
5	16,625	16,119	4,120	16,481	66,5	OK
4	13,3	11,999	3,957	15,829	66,5	OK
3	9,975	8,042	3,586	14,345	66,5	OK
2	6,65	4,456	2,904	11,616	66,5	OK
1	3,325	1,552	1,552	6,207	66,5	OK
0	0	0	0	0	66,5	OK

Tabel 4. 19 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah X				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	46,55	13,832	0,470	1,881	66,5	OK
13	43,225	13,361	0,587	2,348	66,5	OK
12	39,9	12,774	0,711	2,844	66,5	OK
11	36,575	12,063	0,839	3,355	66,5	OK
10	33,25	11,224	0,962	3,847	66,5	OK
9	29,925	10,263	1,074	4,296	66,5	OK
8	26,6	9,189	1,172	4,686	66,5	OK
7	23,275	8,017	1,250	4,999	66,5	OK
6	19,95	6,767	1,304	5,215	66,5	OK
5	16,625	5,464	1,326	5,303	66,5	OK
4	13,3	4,138	1,304	5,218	66,5	OK
3	9,975	2,833	1,219	4,877	66,5	OK
2	6,65	1,614	1,032	4,127	66,5	OK
1	3,325	0,582	0,582	2,329	66,5	OK
0	0	0	0	0	66,5	OK

Tabel 4. 20 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah X				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	46,55	12,919	0,563	2,253	66,5	OK
13	43,225	12,356	0,658	2,634	66,5	OK
12	39,9	11,697	0,756	3,024	66,5	OK
11	36,575	10,941	0,857	3,430	66,5	OK
10	33,25	10,084	0,954	3,815	66,5	OK
9	29,925	9,130	1,040	4,158	66,5	OK
8	26,6	8,091	1,110	4,441	66,5	OK
7	23,275	6,980	1,162	4,646	66,5	OK
6	19,95	5,819	1,188	4,753	66,5	OK
5	16,625	4,631	1,184	4,735	66,5	OK
4	13,3	3,447	1,137	4,547	66,5	OK
3	9,975	2,310	1,030	4,121	66,5	OK
2	6,65	1,280	0,834	3,337	66,5	OK
1	3,325	0,446	0,446	1,783	66,5	OK
0	0	0	0	0	66,5	OK

Tabel 4. 21 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah

Lantai	Tinggi Lantai	Gempa Arah Y				Ket
	Zi	Simpangan Arah Y				
	(m)	Δ (mm)	δ_{ei} (mm)	δ_i (mm)	Δa (mm)	
Atap	46,55	34,096	1,339	5,355	66,5	OK
13	43,225	32,758	1,535	6,141	66,5	OK
12	39,9	31,222	1,826	7,304	66,5	OK
11	36,575	29,396	2,128	8,512	66,5	OK
10	33,25	27,268	2,418	9,673	66,5	OK
9	29,925	24,850	2,682	10,728	66,5	OK
8	26,6	22,168	2,908	11,631	66,5	OK
7	23,275	19,260	3,084	12,337	66,5	OK
6	19,95	16,176	3,198	12,792	66,5	OK
5	16,625	12,978	3,229	12,916	66,5	OK
4	13,3	9,749	3,147	12,587	66,5	OK
3	9,975	6,602	2,897	11,588	66,5	OK
2	6,65	3,705	2,385	9,540	66,5	OK
1	3,325	1,320	1,320	5,280	66,5	OK
0	0	0	0	0	66,5	OK

Dari hasil kontrol tabel di atas maka analisis struktur gedung tower C apartemen Aspen Admiralty memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1.

4.3.7.5 Kontrol Sistem Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul

momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Tabel 4. 22 Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur

Pemikul Gaya Geser	Arah X (kg)	%	Arah Y (kg)	%
Dinding Geser	695282,58	70,12	735137,91	69,25
Sistem Rangka	296235,07	29,88	326438,8	30,75

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.22 di atas, kontrol sistem ganda memenuhi.

4.4 Perencanaan Struktur Utama

4.4.1 Umum

Struktur utama merupakan suatu komponen utama dimana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Struktur utama memiliki fungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa maupun beban angin. Komponen utama terdiri dari balok induk, kolom, dan dinding geser. Pada bab ini akan dibahas mengenai kekuatan struktur utama mencakup kebutuhan tulangan yang diperlukan pada komponen tersebut.

4.4.2 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Didalam preliminary desain gedung tower C apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan direncanakan dimensi balok induk dengan menggunakan sistem pracetak.

Maka dari itu, penulangan lentur balok induk dihitung dalam dua kondisi, yaitu sebelum komposit dan setelah komposit. Dengan adanya dua kondisi tersebut nantinya akan dipilih tulangan yang lebih kritis untuk digunakan pada penulangan balok induk.

4.4.2.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi:

- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja (f_y) = 390 MPa
- Dimensi balok = 50/70 cm
- Diameter tulangan longitudinal = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

4.4.2.2 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Sebelum Komposit

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan pada balok induk sebelum komposit konsepnya sama dengan pembebanan balok anak sesudah komposit yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk menggunakan konsep menggunakan konsep tributary area. Pada penulangan balok induk melintang perhitungan balok induk dengan panjang bentang 5,5 m dijadikan sebagai contoh perhitungan.

Berikut ini merupakan beban merata (q) yang terjadi pada balok :

Beban mati

Berat sendiri pelat pracetak = $0,09 \times 2400 = 216 \text{ kg/m}^2$

Beban hidup

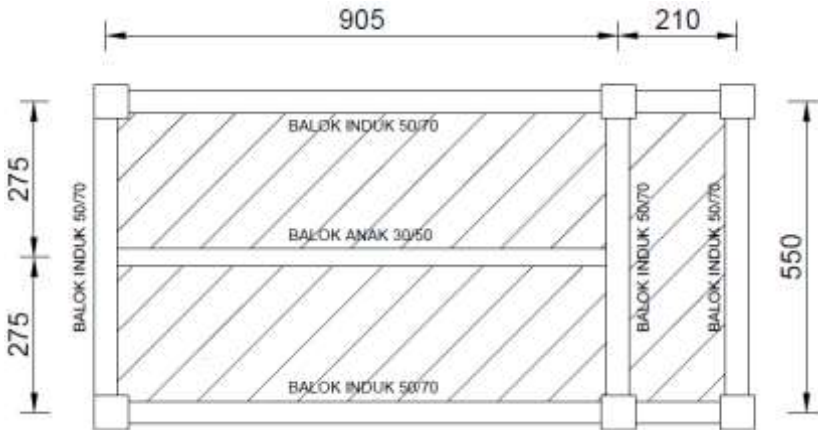
Beban pekerja = 200 kg/m^2

Dimensi balok induk sebelum komposit = 50/55

Bentang balok induk = 5,5 meter

a) Pelat dalam kondisi sebelum terdapat overtopping

Pada kondisi komposit, beban yang dihitung hanyalah menerima beban mati dan beban hidup dari pelat pracetak, balok anak, serta berat dari balok induk itu sendiri.



Gambar 4. 25 Detail pembalokan

Beban pada balok anak

$$L_x = 275 - \left(\frac{50}{2} + \frac{30}{2} \right) = 235 \text{ cm}$$

$$l_y = 905 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 855 \text{ cm}$$

- Beban mati

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,35 \times 2400 = 252 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 216 \times 2,35 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,35}{8,55} \right)^2 \right) \end{aligned}$$

$$= 494,818 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total beban mati balok anak} = 252 + 494,818 = 746,818 \text{ kg/m}$$

- Beban hidup

$$\begin{aligned}
 \text{Berat ekuivalen pelat} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\
 &= 2 \times \frac{1}{2} \times 200 \times 2,35 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,35}{8,55} \right)^2 \right) \\
 &= 458,165 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\
 &= 1,2 (746,818) + 1,6 (458,165) = 1629,245 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 1629,245 \text{ kg/m} \times \frac{9,05}{2} \text{ m} = 7372,333 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat.

$$\text{Berat balok induk} = 0,5 \times 0,55 \times 2400 = 660 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat ekuivalen pelat 1} &= 2 \times \frac{1}{4} \times q \times L_x^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 216 \times 2,35^2 \\
 &= 596,43 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

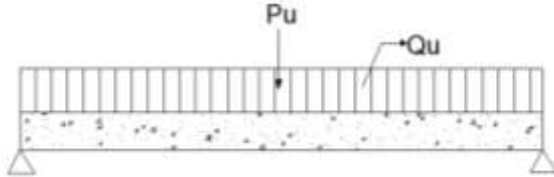
$$\begin{aligned}
 \text{Berat ekuivalen pelat 2} &= \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times 216 \times 1,6 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,6}{5} \right)^2 \right) \\
 &= 166,902 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat ekuivalen pelat} = 596,43 + 166,902 = 763,332 \text{ kg/m}$$

Total beban mati balok induk = $660 + 763,332 = 1423,332 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D \\ &= 1,2 \times 1423,332 \\ &= 1708 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit dalam gambar 4.25 berikut:



Gambar 4. 26 Pembebanan balok induk sebelum komposit

$$\begin{aligned} M_u &= \left(\frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_u \times L \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 1708 \times 5,5^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times 7372,333 \times 5,5 \right) \\ &= 16595,326 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b) Pelat dalam kondisi terdapat overtopping, tidak terdapat beban kerja

Beban mati

Pelat:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat pracetak} &= 0,09 \times 2400 = 216 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Overtopping} &= 0,06 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dimensi balok induk sebelum komposit} = 50/55$$

$$\text{Bentang balok induk} = 5,5 \text{ meter}$$

Pada kondisi sebelum komposit, balok hanya menerima beban mati dari pelat pracetak, overtopping dan balok anak serta berat balok induk sendiri.

Beban pada balok anak

- Beban mati

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,35 \times 2400 = 252 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen pelat} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 360 \times 2,35 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,35}{8,55} \right)^2 \right) \\ &= 824,696 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati balok anak} = 252 + 824,696 = 1076,696 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D \\ &= 1,2 \times 1076,696 \\ &= 1292,036 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 1292,036 \text{ kg/m} \times \frac{9,05}{2} \text{ m} = 5846,462 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekivalen pelat.

$$\text{Berat balok induk} = 0,5 \times 0,7 \times 2400 = 840 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen pelat 1} &= 2 \times \frac{1}{4} \times q \times L_x^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 360 \times 2,35^2 \\ &= 994,05 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat ekivalen pelat 2} = \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 360 \times 1,6 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,6}{5} \right)^2 \right)$$

$$= 278,17 \text{ kg/m}$$

Berat ekivalen pelat = $994,05 + 278,17 = 1272,22 \text{ kg/m}$

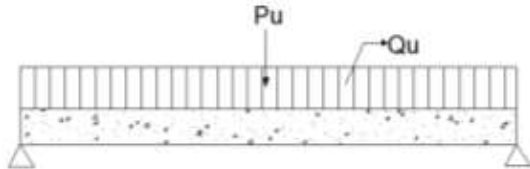
Total beban mati balok anak = $840 + 1272,22 = 2112,22 \text{ kg/m}$

$$Q_u = 1,2D$$

$$= 1,2 \times 2112,22$$

$$= 2534,66 \text{ kg/m}$$

Dari perhitungan diatas dapat digambarkan pembebanan pada balok induk sebelum komposit dalam gambar 4.26 berikut:



Gambar 4. 27 Pembebanan balok induk sebelum komposit

$$\begin{aligned} M_u &= \left(\frac{1}{8} \times Q_u \times L^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times P_u \times L \right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 2534,66 \times 5,5^2 \right) + \left(\frac{1}{4} \times 5846,462 \times 5,5 \right) \\ &= 17623,081 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Jadi, momen (M_u) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan lentur balok induk sebelum komposit adalah 25379,134 kgm.

c) Perhitungan Tulangan Lentur

- **Data Perencanaan**

Dimensi Balok Induk	= 50/70
Bentang Balok Induk	= 5,5 m
Diameter Tulangan utama	= 22 mm
Diameter Sengkang	= 13 mm
ρ_{\max}	= 0,025

$$\rho = 0,0036$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$dx = 550 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 486 \text{ mm}$$

$$Mu = 17623,081 \text{ kgm}$$

Karena perletakan sebelum komposit dianggap sendi maka momen tumpuannya adalah nol, namun tetap diberi penulangan tumpuan sebesar setengah dari penulangan lapangan.

$$Rn = \frac{Mn}{0,8 \times b \times dx^2} = \frac{1762308108}{0,8 \times 500 \times 486^2} = 1,865$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,865}{390}} \right) = 0,00497 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00497 > \rho_{\text{min}} = 0,0036$ dipakai ρ_{perlu} sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00497 \times 500 \times 486 = 1208,16 \text{ mm}^2$$

➤ Digunakan **4 D22 mm** ($As = 1520,531 \text{ mm}^2$)

4.4.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk Melintang Interior Setelah Komposit

Perencanaan balok induk didesain dengan menggunakan tulangan rangkap dimana untuk merencanakan tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak balik (kiri dan kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada tumpuan. Hasil perencanaan tulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar.

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Mutu beton ($f'c$)	= 30 MPa
Mutu baj (f_y) tulangan	= 390 MPa
Dimensi balok induk	= 50/70 cm
Panjang balok induk	= 5,5 m
Tebal <i>decking</i>	= 40 mm
Diameter tulangan utama	= 22 mm
Diameter sengkang	= 13 mm
b	= 500 mm
d	= $700 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 636$ mm
d'	= $40 + 13 + (0,5 \times 22) = 64$ mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033 \end{aligned}$$

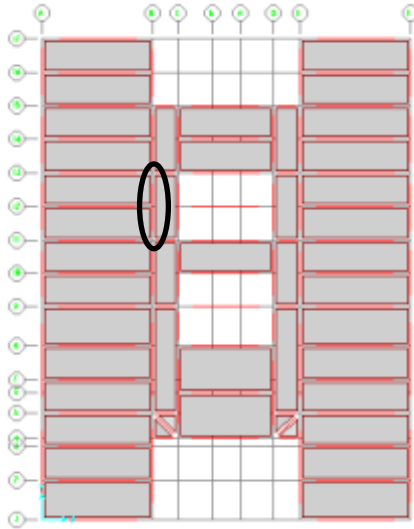
$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,0248$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{390} = 0,0035 \end{aligned}$$

ρ_{\min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0036

Dari analisa SAP2000 didapat nilai momen sebagai berikut:



Gambar 4. 28 Denah pembalokan

M tumpuan negatif	= - 421701809 Nmm
M tumpuan positif	= + 247504896,4 Nmm
M lapangan	= + 118313628,8 Nmm
Geser maksimum	= 221020,91 N

a. Perhitungan balok T beam

• Lebar efektif

$$be_1 = \frac{1}{4} \times Lb = \frac{1}{4} \times 550 = 137,5 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times tp = 8 \times 15 = 120 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 500 = 250 \text{ cm}$$

b. Penulangan Tumpuan (balok dianggap persegi)

b.1. Tulangan negatif tumpuan

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$Mu^{(-)} = 421701809 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, $n = 6$ buah ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, $n' = 4$ buah ($A_s' = 1520,53 \text{ mm}^2$)

$$d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 636 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 64 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

▪ **Analisa tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{500 \times 636} = 0,00717$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{1520,53}{500 \times 636} = 0,00478$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0024 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 64}{390 \times 636} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0,0024 \leq 0,0157 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 74,778 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,863 \times 74,778 = 62,493 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f_s' = 600 \left(\frac{74,778 - 64}{74,778} \right) \leq 390$$

$$f_s' = 86,481 \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tekan)}$$

Maka diambil $f_s' = 86,481 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} M_n &= (A_s \times f_y - A_s' \times f_s') \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_s' \times (d - d') \\ &= (2280,8 \times 390 - 1520,53 \times 86,481) \times \left(636 - \frac{62,493}{2} \right) + 1520,53 \times 86,481 \times 572 \\ &= 5336275894 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[\left(1 / \left(c / d \right) \right) - (5 / 3) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 1,77 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 533627589,4 \text{ Nmm} \\ &= 480264830,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$480264830,4 \text{ Nmm} > 421701809 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan diatas kuat menahan beban ultimate balok.

b.2. Tulangan positif tumpuan

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$M_u^{(+)} = 247504896,4 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, n = 4 buah ($A_s = 1520,53 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, n' = 6 buah ($A_s' = 2280,8 \text{ mm}^2$)

$$d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 636 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 64 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

▪ Analisa tulangan rangkap

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{1520,53}{500 \times 636} = 0,00478$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{500 \times 636} = 0,00717$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$-0,0024 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 64}{390 \times 636} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$-0,0024 \leq 0,0157 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 63,049 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,863 \times 63,049 = 52,691 \text{ mm}$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{63,049 - 64}{63,049} \right) \leq 390$$

$$f'_s = -9,05 \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f'_s = 9,05$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1520,53 \times 390 \times \left(636 - \frac{52,691}{2} \right) + 2280,8 \times 9,05 \times \left(636 - \frac{52,691}{2} \right) \\ &= 362306690,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[\left(1 / (c / d) \right) - (5 / 3) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 2,013 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 362306690,3 \text{ Nmm} \\ &= 326076021,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$326076021,2 > 247504896,4 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan diatas kuat menahan beban ultimate balok.

c. Penulangan Lapangan (balok dianggap balok T palsu)

Penulangan lentur lapangan didasarkan pada nilai momen yang terjadi di daerah lapangan. Besar momen lapangan yang terjadi di bagian balok melintang interior ialah sebesar $M_u = 118313628,8 \text{ Nmm}$.

Sebelum kita lakukan analisa desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut:

Tulangan lapangan bawah

$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 550 = 137,5 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 50 + (16 \times 15) = 290 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (550 - 50) = 250 \text{ cm}$$

$$b = b_e = 137,5 \text{ cm}$$

$$d_x = 636 \text{ mm}$$

▪ **Tulangan Lapangan**

Direncanakan menggunakan tulangan D22

$$M_u^{(+)} = 118313628,8 \text{ Nmm}$$

Pakai jumlah tulangan tarik, $n = 2$ buah ($A_s = 760,26 \text{ mm}^2$)

Pakai jumlah tulangan tekan, $n' = 2$ buah ($A_s' = 760,26 \text{ mm}^2$)

$$d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 22) = 636 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 13 + (0,5 \times 22) = 64 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

▪ **Analisa tulangan rangkap**

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{1520,53}{500 \times 636} = 0,00239$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{2280,8}{500 \times 636} = 0,00239$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0 \geq \frac{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 64}{390 \times 636} \times \frac{600}{600 - 390}$$

$$0 \leq 0,0157 \text{ (Tulangan tekan belum leleh)}$$

$$\text{Maka : } A_s f_y = 0,85 f_c' \beta_1 c \cdot b + A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85 f_c' \right]$$

Dengan penyelesaian persamaan kuadrat didapat $c = 46,174 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \times c = 0,863 \times 46,174 = 38,588 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

$$f_s' = 600 \left(\frac{46,174 - 64}{46,174} \right) \leq 390$$

$$f_s' = -231,64 \geq 390 \text{ MPa (tulangan tekan dalam kondisi tarik)}$$

Maka diambil $f_s' = 231,64 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \times f'_s \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 760,26 \times 390 \times \left(636 - \frac{38,588}{2} \right) + 760,26 \times 231,64 \times \left(636 - \frac{38,588}{2} \right) \\
 &= 190728560,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75 + 0,15 \left[\left(1 / (c / d) \right) - (5 / 3) \right] \leq 0,9$$

$$\phi = 2,56 \rightarrow \phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 190728560,3 \text{ Nmm} \\
 &= 171655704,2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$171655704,2 \text{ Nmm} > 118313628,8 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Maka tulangan diatas kuat menahan beban ultimate balok.

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Tulangan Tumpuan
 - Tulangan atas = 6D22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 4D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)
- Tulangan Lapangan
 - Tulangan atas = 2D22 ($A_s = 760,26 \text{ mm}^2$)
 - Tulangan bawah = 2D22 ($A_s = 760,26 \text{ mm}^2$)

d. Penulangan Geser dan Torsi

Sesuai peraturan SNI 03-2847-2013 bab 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini: Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan:

$$\phi V_n = V_u \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1})$$

Dengan V_u merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari:

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana:

V_u = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

ϕ = Faktor reduksi geser (0,75)

V_n = Kuat Geser nominal

V_c = Kuat geser beton

V_s = Kuat Geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut:

$$\phi T_n \geq T_u \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.5})$$

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana:

T_n = kekuatan momen torsi nominal

T_u = momen torsi terfaktor pada penampang

A_o = luas penampang beton yang menahan transfer geser, mm^2

A_t = luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s , mm^2

f_{yt} = kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)

s = spasi tulangan geser atau puntir dalam arah parallel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.2) bahwa pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam. Pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor T_u kurang dari:

$$\phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana:

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

f'_c = Kuat tekan beton, Mpa

- A_{cp} = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2
 P_{cp} = Keliling luar penampang beton, mm^2

➤ **Penulangan Geser**

▪ **Penulangan Geser Balok Balok Induk Interior 5,5 meter**

Penulangan geser balok induk didasarkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3 dimana nilai gaya geser rencana (yang digunakan untuk perencanaan desain) bukan hanya pada gaya geser yang terjadi, tetapi harus memenuhi persyaratan yang ada sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.3.

- Jumlah gaya lintang yang terjadi akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.
- Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk beban gempa dimana nilai beban gempa diambil sebesar dua kali lipat nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan penulangan tumpuan dan lapangan untuk balok dengan bentang 5,5 meter.

Perumusan perhitungan gaya lintang pada balok

$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \left(\frac{W_u \times l_n}{2} + \frac{P_u}{2} \right)$$

Dari persyaratan yang telah ditetapkan di atas maka besarnya gaya geser rencana dilakukan dengan membandingkan nilai momen nominal ujung balok (pada muka kolom) ditambah dengan gaya geser beban gravitasi berfaktor.

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut:

$$Mpr = As \times 1,25 \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{As \times 1,25 \times fy}{0,85 \times f'c \times b}$$

Tabel 4. 23 Nilai Mpr balok induk interior

LOKASI			Tul. Pasang	As perlu	a (mm)	Mpr (kNm)
Tumpuan	KIRI	ATAS	6	2280,8	87,21	658,679
		BAWAH	4	1520,53	58,14	449,893
	KANAN	ATAS	6	2280,8	87,21	658,679
		BAWAH	4	1520,53	58,14	449,893

$$Mpr_1 = 658,679 \text{ kNm}$$

$$Mpr_2 = 449,893 \text{ kNm}$$

$$l_n = 4,8 \text{ m}$$

Perhitungan beban pada balok induk**Beban mati**

$$\text{Berat sendiri pelat pracetak} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup

$$\text{Hunian} = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Dimensi balok induk} = 50/70$$

$$\text{Bentang balok induk} = 5,5 \text{ meter}$$

Beban pada balok anak

$$L_x = 275 - \left(\frac{50}{2} + \frac{30}{2} \right) = 235 \text{ cm}$$

$$L_y = 905 - \left(\frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 855 \text{ cm}$$

- Beban mati

$$\text{Berat balok anak} = 0,3 \times 0,5 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 360 \times 2,35 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,35}{8,55} \right)^2 \right) \\ &= 824,696 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati balok anak} = 360 + 824,696 = 1184,696 \text{ kg/m}$$

- Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{Berat ekivalen pelat} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 200 \times 2,35 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{2,35}{8,55} \right)^2 \right) \\ &= 458,165 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= 1,2 (824,696) + 1,6 (458,165) = 2154,699 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat (P_D) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 2154,699 \text{ kg/m} \times \frac{9,05}{2} \text{ m} = 9750,014 \text{ kg}$$

Beban pada balok induk

Beban yang terjadi pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan berat ekuivalen pelat.

- Beban mati

$$\text{Berat balok induk} = 0,5 \times 0,7 \times 2400 = 840 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat ekivalen pelat 1} = 2 \times \frac{1}{4} \times q \times L_x^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 360 \times 2,35^2 \\
 &= 994,05 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat ekivalen pelat 2} &= \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times 360 \times 1,6 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,6}{5} \right)^2 \right) \\
 &= 278,17 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat ekivalen pelat} = 994,05 + 278,17 = 1272,22 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total beban mati balok induk} = 840 + 1272,22 = 2112,22 \text{ kg/m}$$

- Beban hidup

$$\begin{aligned}
 \text{Berat ekivalen pelat 1} &= 2 \times \frac{1}{4} \times q \times L_x^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 200 \times 2,35^2 \\
 &= 552,25 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat ekivalen pelat 2} &= \frac{1}{2} \times q \times L_x \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{L_x}{L_y} \right)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{2} \times 200 \times 1,6 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{1,6}{5} \right)^2 \right) \\
 &= 154,539 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total beban hidup balok induk} = 552,25 + 154,539 = 706,789 \text{ kg/m}$$

$$Q_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$= 1,2 (2112,22) + 1,6 (706,789) = 3665,525 \text{ kg/m}$$

Maka beban pada balok induk:

$$P_u = 97,5 \text{ KN (beban terpusat akibat balok anak)}$$

$$W_u = 36,655 \text{ KN/m (distribusi beban segitiga dan trapesium)}$$

➤ Analisa terhadap gempa kiri

$$V_u = \frac{658,679 + 449,893}{4,8} - \left(\frac{36,655 \times 4,8}{2} + \frac{97,5}{2} \right)$$

$$V_u = 94,23 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{658,679 + 449,893}{4,8} + \left(\frac{36,655 \times 4,8}{2} + \frac{97,5}{2} \right)$$

$$V_u = 367,675 \text{ kN}$$

➤ Analisa terhadap gempa kanan

$$V_u = \frac{658,679 + 449,893}{4,8} - \left(\frac{36,655 \times 4,8}{2} + \frac{97,5}{2} \right)$$

$$V_u = 94,23 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{658,679 + 449,893}{4,8} + \left(\frac{36,655 \times 4,8}{2} + \frac{97,5}{2} \right)$$

$$V_u = 367,675 \text{ kN}$$

Hasil dari SAP 2000 dengan nilai $V_u = 221,021 \text{ kN}$, sehingga nilai V_u yang menentukan ialah $367,675 \text{ kN}$

▪ **Pemasangan sengkang daerah sendi plastis**

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, apabila:

1. $M_{pr} \geq 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi}$

$$(658,679 + 449,893)/4,8 \geq 0,5 \times 367,675 \text{ kN}$$

$$230,952 > 183,838 \quad \dots \text{ (OK)}$$

2. Gaya Aksial Tekan $< A_g \times f_c' / 20$

$$P_u \text{ balok sangat kecil} \quad \dots \text{ (OK)}$$

Karena Gaya aksial terlalu kecil maka persyaratan memenuhi:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{367,675}{0,75} = 490,233 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ($A_v = 265,46 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 390 \times 636}{490,233 \times 10^3} = 134,32 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang $2h = 2 \times 700 = 1400$ mm dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. $d/4 = 636/4 = 159$ mm
- b. $8 \times D_{tul \text{ longitudinal}} = 8 \times 22 = 176$ mm
- c. $24 \times D_{tul \text{ sengkang}} = 24 \times 13 = 312$ mm
- d. 300 mm

Dari Syarat diatas maka diambil sengkang didaerah plastis D13-100 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

▪ Pemasangan sengkang diluar sendi plastis

Nilai geser maksimum, V_u , di luar sendi plastis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_u &= V_u - W_u(2h) \\ V_u &= 367,675 - 36,655 \times (2 \times 0,7) \\ &= 316,358 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka,

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{316,358}{0,75} = 421,81 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ($A_v = 265,46 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 390 \times 636}{421,81 \times 10^3} = 156,103 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang diluar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$\begin{aligned} s &\leq d/2 \\ &\leq 636/2 = 318 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis D13-150 mm.

➤ Perhitungan Penulangan Torsi

Data perencanaan:

Dimensi Balok Induk = 500/700 mm

T_u = 97593389,1 Nmm

Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut:

$$T_u < \phi 0,33 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$97593389,1 < 0,75 \times 0,33 \times \sqrt{30} \left(\frac{(500 \times 700)^2}{(500 + 700) \times 2} \right)$$

$$97593389,1 > 69192763,71 \text{ Nmm}$$

Dengan demikian dibutuhkan Tulangan Torsi.

▪ Kekuatan Momen Torsi

Dimensi penampang harus sebagai berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'_c} \right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{367289}{500 \times 636} \right)^2 + \left(\frac{97593389,1 \times (407 + 607) \times 2}{1,7 \times (407 \times 607)^2} \right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left(\frac{290292,96}{500 \times 636} + 0,66 \sqrt{30} \right)$$

$$1,156 \leq 3,39 \dots \text{(OK)}$$

Desain penampang harus berdasarkan pada

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{ho} \\ &= 0,85 (407 \times 607)^2 \\ &= 51878227141 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_t = 132,73 \text{ mm}^2 \text{ (tulangan D13)}$$

$s = 150 \text{ mm}$ (jarak sengkang)

$\theta = 45^\circ$ (struktur non-prategang)

maka,

$$T_n = \frac{2 \times 5187822714 \times 132,73 \times 390}{150} \cot(45^\circ)$$

$$= 3,581 \times 10^{13} \text{ Nmm}$$

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$0,75 \times 3,581 \times 10^{13} \geq 97593389,1$$

$$2,685 \times 10^{13} > 97593389,1 \dots \text{OK}$$

▪ Luas Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 11.5.5.3 luas total minimum tulangan torsi longitudinal harus dihitung dengan:

$$\begin{aligned} A_\ell &= \frac{0,42 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= \frac{0,42 \sqrt{30} \times 350000}{390} - \left(\frac{132,73}{150} \right) 2028 \times \frac{390}{390} \\ &= 269,952 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan torsi longitudinal 2D22 ($A_s = 760,265 \text{ mm}^2$)

e. Kontrol lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a), syarat tebal minimum balok apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

Balok dengan dua tumpuan

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan h_{\min}

f. Kontrol retak

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \geq M_{cr}$$

dimana M_{cr} harus diperoleh menggunakan modulus hancur, f_r , yang diberikan pada SNI-2847-2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

dan

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f_c}$$

dimana:

M_{cr} = momen retak

f_r = modulus hancur beton

I_g = momen inersia penampang beton bruto

y_t = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

λ = faktor modifikasi ($\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal)

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{30} \\ &= 3,396 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$I_g = 5000 \times 7000 = 35 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

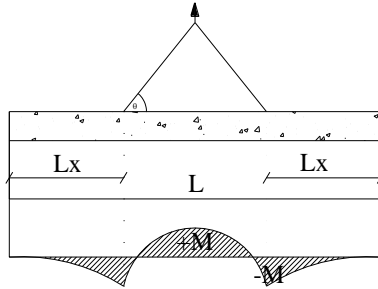
$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{3,396 \times 35 \times 10^6 \text{ mm}^2}{350} \\ &= 339587,986 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 171655704,2 \text{ Nmm} \geq M_{cr} = 339587,986 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

4.4.2.4 Pengangkatan Elemen Balok Induk

Balok induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses

pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



Gambar 7. 1 Momen saat pengangkatan balok induk

Dimana :

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Yb} \left(1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$

$$L = 550 \text{ cm}$$

Perhitungan :

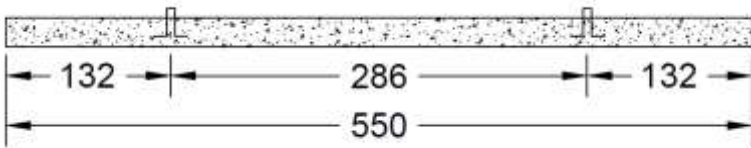
$$Y_t = Y_b = \frac{(55 - 15)}{2} = 20 \text{ cm}$$

$$Y_c = 20 + 5 = 25 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 25}{550 \times \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{20 \left(1 + \frac{4 \times 25}{550 \times \tan 45^\circ} \right)}{20}} \right)} = 0,239$$

$$X \times L = 0,239 \times 550 = 131,2 \text{ cm} = 132 \text{ cm}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 550 - 2 \times (132) = 286 \text{ cm}$$



Gambar 4. 29 Letak titik pengangkatan

e. Pembebanan

Balok ($0,5 \times 0,55 \times 5,5 \times 2400$) = 3630 kg

$$T \sin \phi = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 3630}{2}$$

$$= 2613,6 \text{ kg}$$

$$T = \frac{2613,6}{\sin 45^\circ} = 3696,189 \text{ kg}$$

f. Tulangan Angkat Balok Induk

$P_u = 3696,189 \text{ kg}$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu $f_y = 390 \text{ Mpa}$ adalah $f_y/1,5$. Jika dipakai tulangan polos dengan mutu $f_y = 240 \text{ Mpa}$, maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 2400/1,5 = 1600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{Pu}{\sigma_{ijin} \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{3696,189}{1600 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,735 \text{ cm}$$

Digunakan Tulangan Ø 8 mm

- Pembebanan

$$\text{Balok } (0,5 \times 0,55 \times 2400) = 660 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

➤ Momen lapangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+M = \left(\frac{660 \times 5,5^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,239 + \frac{4 \times 0,25}{5,5 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 681,672 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang Terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{681,672 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 500 \times 550^2}$$

$$= 0,27 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

➤ Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2 L^2}{2}$$

$$-M = \left(\frac{660 \times 0,239^2 \times 5,5^2}{2} \right) \times 1,2 = 681,672 \text{ kgm}$$

- Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{681,672 \times 10^4}{\frac{1}{6} \times 500 \times 550^2}$$

$$= 0,27 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai f' akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai $f'_{r_{ijin}}$ usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

4.4.2.5 Penulangan Balok Induk yang Terpasang

Penulangan balok induk yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari kedua keadaan diatas (keadaan sebelum komposit dan sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 24 Penulangan Lapangan Balok Induk

Kode Balok Induk		L	b	h	Tulangan Lentur		Sengkang	Torsi
		mm	mm	mm	Atas	Bawah		
B1	INT	9050	500	700	2D22	5D22	D13-150	-
B1	EXT	9050	500	700	2D22	3D22	D13-200	-
B2	INT	7850	500	700	2D22	3D22	D13-200	-
B2	EXT	7850	500	700	2D22	3D22	D13-150	-
B3	INT	5500	500	700	2D22	4D22	D13-150	2D22
B3	EXT	5500	500	700	2D22	3D22	D13-150	2D22
B4	INT	8700	500	700	3D22	9D22	D13-150	2D22
B4	EXT	8700	500	700	3D22	9D22	D13-150	2D22
B5	INT	7600	500	700	3D22	8D22	D13-150	2D22
B6	INT	2100	500	700	10D22	7D22	2D13-75	-
B7	INT	3200	500	700	8D22	6D22	D13-75	-

Tabel 4. 25 Penulangan Tumpuan Balok Induk

Kode Balok Induk		L	b	h	Tulangan Lentur		Sengkang
		mm	mm	mm	Atas	Bawah	
B1	INT	9050	500	700	7D22	4D22	D13-150
B1	EXT	9050	500	700	5D22	3D22	D13-150
B2	INT	7850	500	700	5D22	3D22	D13-150
B2	EXT	7850	500	700	6D22	3D22	D13-150
B3	INT	5500	500	700	6D22	4D22	D13-125
B3	EXT	5500	500	700	5D22	3D22	D13-150
B4	INT	8700	500	700	8D22	4D22	D13-150
B4	EXT	8700	500	700	7D22	4D22	D13-150
B5	INT	7600	500	700	7D22	4D22	D13-150
B6	INT	2100	500	700	10D22	7D22	2D13-75
B7	INT	3200	500	700	8D22	6D22	D13-75

4.4.3 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, serta berfungsi untuk meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Pada perencanaan Tugas Akhir ini, kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom yang memikul beban terbesar.

4.4.3.1 Data Umum Perencanaan Kolom

Data umum perencanaan adalah sebagai berikut:

- Dimensi kolom : 70/70 cm
- Tinggi kolom : 332,5 cm
- Tebal decking : 40 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) : 25 mm
- Diameter Sengkang (ϕ) : 16 mm
- Mutu baja (f_y) : 390 Mpa
- Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
- $d = 700 - 40 - 16 - (0,5 \times 25) = 631,5 \text{ mm}$

4.4.3.2 Kontrol Dimensi Kolom

Sebelum diperiksa syarat dimensi kolom menurut SNI-2847-2013 Pasal 21.6.1 harus dipenuhi bila:

- Kolom sebagai penahan gaya gempa dan yang menahan gaya tekan aksial
- Menerima beban aksial berfaktor lebih besar dari $A_g f'_c/10 = 700 \times 700 \times 30/10 = 1470000 \text{ N} = 1470 \text{ kN}$

Karena 1470 kN ini lebih kecil dari beban aksial berfaktor maximum dari SAP (8161,973 kN) maka pasal tersebut diatas berlaku:

- Ukuran penampang terpendek $700 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (Ok)
- Ratio $b/h = 700/700 = 1 > 0,4$ (Ok)

4.4.3.3 Perhitungan Penulangan Kolom

Dengan menggunakan *software* SAP2000 diperoleh Besarnya gaya dalam pada kolom sebagai berikut:

Tabel 4. 26 Gaya dalam kolom

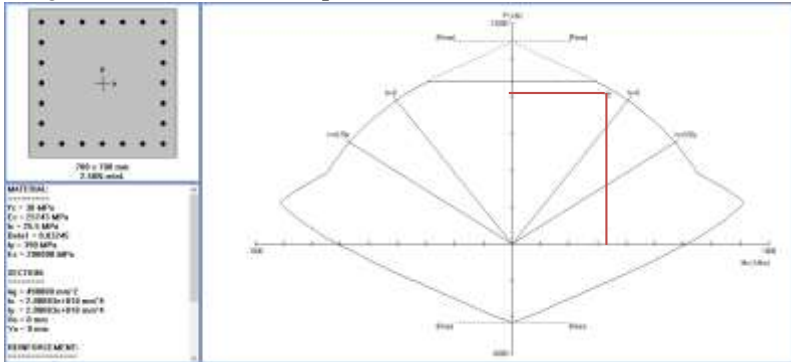
Ukuran (mm)	Aksial (kN)	Torsi (kN-m)	Momen (kN-m)
700x700	-8161,973	5,801	667,4713

Sesuai dengan persyaratan pada SNI-03-2847 2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi $A_g f'_c/10$, harus memenuhi ketentuan pada *pasal* 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya aksial terfaktor} &\leq A_g \times \frac{f'_c}{10} \\
 &\leq 700 \times 700 \times \frac{30}{10} \\
 &\leq 1470000 \text{ N} = 1470 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa dengan program bantu SAP 2000 didapat gaya aksial tekan terfaktor yang terbesar adalah 8161,973 kN. Karena beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur telah

melebihi $Ag \times \frac{f'c}{10}$, maka detail pengekanan kolom harus sesuai dengan SNI 03-2847-2013 *pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.*



Gambar 4. 30 Diagram interaksi aksial vs momen kolom

Berdasarkan kombinasi pada **Tabel 4.26**, maka kolom memerlukan tulangan memanjang (longitudinal) sebanyak 24D25 ($\rho = 2,5 \%$) seperti pada hasil perhitungan program bantu *spColumn* pada **Gambar 4.30**. Kebutuhan ρ tersebut telah memenuhi syarat SNI 03-2847-2013 pasal 10.9.1 yaitu antara 1% - 8%. Dari hasil analisis kolom menggunakan program bantu *spColumn*, didapat hasil analisa sebagai berikut:

- Rasio tulangan longitudinal = 2,5 %
- Penulangan 24D25 = $As = 12232,2 \text{ mm}^2$
- I_x = $2,00083 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- I_y = $2,00083 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- Ag = 490000 mm^2

4.4.3.4 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned}
 \phi P_n (\max) &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\
 &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 30 \times (490000 - 12232,2) + 390 \times 12232,2] \\
 &= 8815891,19 \text{ N} \\
 &= 8815,89 \text{ kN} > 8161,973 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

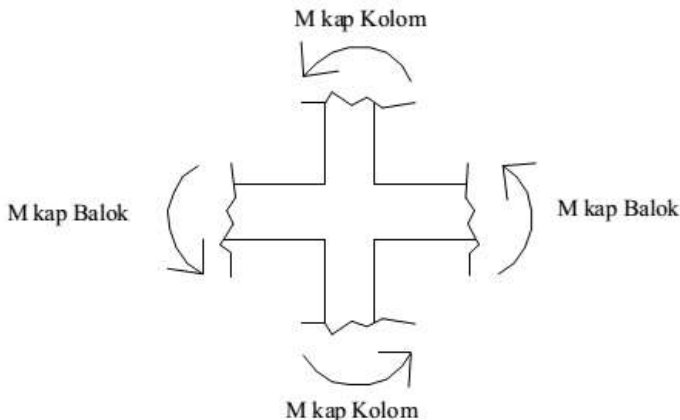
jadi, tulangan memanjang 24 D25 dapat digunakan.

4.4.3.5 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Dimana $\sum M_{nc}$ adalah momen kapasitas kolom dan $\sum M_{nb}$ merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa M_{nc} harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong kolom weak beam*.



Gambar 4. 31 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

Dari hasil analisa *SpColumn* didapatkan nilai $\phi M_n = 738,59$ kNm dan $\phi = 0,65$

$$\text{Maka, } M_n = \frac{\phi M_n}{\phi} = \frac{738,59}{0,65} = 1136,29 \text{ kNm}$$

M_{nc} didapat:

$$\sum M_{nc} = 2 \times (1136,29) = 2272,585 \text{ kNm}$$

Nilai M_g dicari dari jumlah M_{nb+} dan M_{nb-} balok yang menyatu dengan kolom didapat dari M_n di tabel penulangan balok interior. Diperoleh bahwa:

$$M_{nb+} = 661,239 \text{ kNm}$$

$$M_{nb-} = 346,541 \text{ kNm}$$

Sehingga

$$\sum M_{nb} = 0,85 \times (661,239 + 346,541) = 856,613 \text{ kNm}$$

$$\text{Persyaratan} \quad \text{Strong} \quad \text{Column} \quad \text{Weak} \quad \text{Beam} \\ \sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Maka:

$$2272,585 \text{ kNm} > 1,2 \times 856,613 \text{ kNm}$$

$$2272,585 \text{ kNm} > 1027,936 \text{ kNm (Ok)}$$

Maka Memenuhi Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*”

4.4.3.6 Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser

Rencana V_e

➤ Geser pada kolom :

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain, V_e ditentukan sebagai berikut :

$$V_e = \frac{(2 \times M_{pr})}{L_n}$$

M_{pr} adalah kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit **1,25 f_y** . Sehingga nilai f_y untuk analisa geser sebesar :

$$1,25 \times f_y = 1,25 \times 390 = 487,5 \text{ Mpa}$$

Dari hasil analisa *SpColumn* didapatkan nilai $\phi M_n = 864,55$ kNm dan $\phi = 0,65$

$$\text{Maka, } M_{pr} = M_n = \frac{\phi M_n}{\phi} = \frac{864,55}{0,65} = 1330,077 \text{ kNm}$$

Panjang bentang bersih: $3,325 - 0,7 = 3,2 \text{ m}$

$$V_e = \frac{(2 \times 1330,077)}{2,625} = 1013,392 \text{ kN}$$

➤ Geser pada balok :

Perhitungan M_{pr} pada balok:

$$- M_{pr}^+ = 449,893 \text{ kNm}$$

$$- M_{pr}^- = 658,679 \text{ kNm}$$

$$V_u = 2 \times \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_1} \times \frac{l_2}{l_1 + l_2}$$

$$V_u = 2 \times \frac{449,893 + 658,679}{3,325} \times \frac{3,325}{(3,325 + 3,325)}$$

$$V_u = 333,405 \text{ kN}$$

$$V_e > V_u$$

$$1013,392 \text{ kN} > 333,405 \text{ kN}$$

Nilai gaya geser diambil nilai terbesar dari kedua nilai di atas sehingga diambil nilai gaya geser sebesar 1013,392 kN.

A. Pengekang kolom

Bedasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.1 panjang ℓ_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

$$\text{a) } h = 700 \text{ mm}$$

$$\text{b) } \frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 2625 = 437,5 \text{ mm}$$

$$\text{c) } 450 \text{ mm}$$

∴ Maka, ℓ_o pakai adalah 700 mm

Untuk jarak sengkang (s) sepanjang panjang ℓ_o berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.3 tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$a) \frac{1}{4} \times b = \frac{1}{4} \times 700 = 175 \text{ mm}$$

$$b) 6 \times dl = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$c) s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \\ = 100 + \left(\frac{350 - (0,5 \times (700 - 2 \times (40 + 16/2)))}{3} \right) = 116 \text{ mm}$$

Dimana S_o tidak perlu lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm.

Maka dipakai jarak sengkang (s) = 100 mm

Untuk Ash minimal sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai lebih besar dari hasil 2 rumus berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f_c'}{f_{yt}}$$

Keterangan:

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

b_c = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

A_g = luasan penampang kolom (mm²)

A_{ch} = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm²)

f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

Dengan asumsi bahwa $s = 100$ mm, $f_{yt} = 390$ Mpa, selimut beton = 40 mm dan $D_s = 16$ mm. sehingga diperoleh:

$$b_c = 700 - 2(40 + \frac{1}{2} \times 16) = 604 \text{ mm}$$

$$A_g = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (700 - 40)^2 = 435600 \text{ mm}^2$$

Maka:

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{100 \times 604 \times 30}{390} \left[\left(\frac{490000}{435600} \right) - 1 \right] = 174,071 \text{ mm}^2$$

atau

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{100 \times 604 \times 3}{390} = 418,154 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2 > A_{sh} \text{ max} = 418,154 \text{ mm}^2$$

Untuk memenuhi syarat diatas dipasang 3D16 – 100mm ($A_{sh} = 603,186 \text{ mm}^2 > 418,154 \text{ mm}^2$). Mengingat beban aksial terfaktor kolom minimal 8161,973 kN > 1470 kN, maka Nilai V_c diambil sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{8161973}{14 \times 490000} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 700 \times 631,5$$

$$V_c = 901330 \text{ N} = 901,33 \text{ kN}$$

Berdasarkan A_v 3D16 = 603,186 mm² dan s terpasang = 100 mm

$d = h \text{ kolom} - d' - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} d_l$

$$d = 700 - 40 - 16 - \frac{1}{2} 25$$

$$d = 631,5 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{603,186 \times 390 \times 631,5}{100} = 1485556 \text{ N} = 1485,556 \text{ kN}$$

Maka $\phi(V_s + V_c)$

$$= 0,75(1485,556 + 901,33) = 1790,165 \text{ kN} > V_u = 333,405 \text{ kN}$$

Maka A_{sh} yang terpasang di $\ell_o = 700 \text{ mm}$ cukup untuk menahan geser.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.5 spasi sengkang di luar panjang ℓ_o boleh melebihi yang lebih kecil dari:

$$a) 6 \times dl = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$b) 150 \text{ mm}$$

∴ Maka, dipakai sengkang di luar panjang 3D16 - 150mm

B. Panjang Lewatan pada Sambungan Tulangan Kolom

Sambungan kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang ditentukan berdasarkan SNI03-2847-2013 pasal 12.2.3 berikut :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) \times d_b$$

Dimana :

$$\Psi_t = 1 ; \Psi_e = 1 ; \Psi_s = 1$$

$$\lambda = 1$$

$$K_{tr} = 0 \rightarrow \text{penyederhanaan desain}$$

$$c = 40 + ds + \frac{1}{2}dl$$

$$= 40 + 16 + \frac{1}{2} 25$$

$$= 68,5 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{390}{1,1 \times 1 \times \sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{68,5 + 0}{25} \right)} \right) \times 25$$

$$l_d = 590,61 \text{ mm}$$

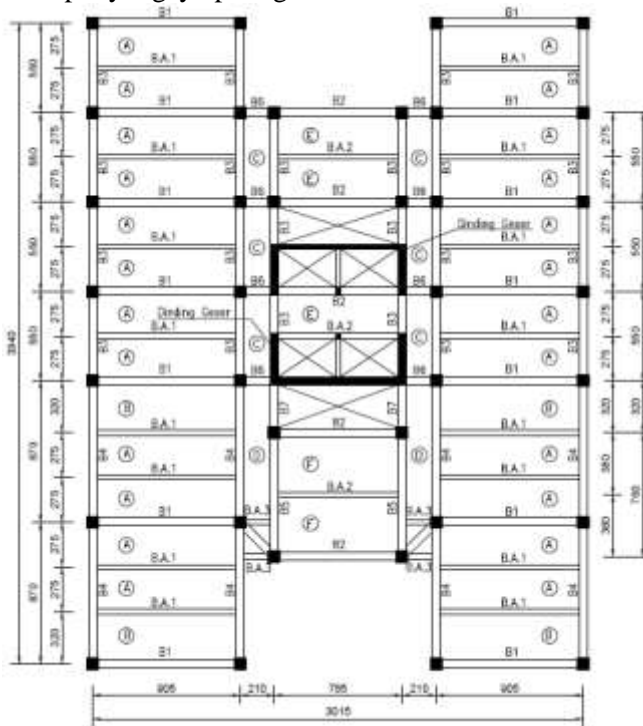
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.7.2 sambungan lewatan tulangan ulir dan kawat ulir $l_d \geq 200 \text{ mm}$, maka

$$l_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$590,61 \geq 200 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

4.4.4 Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser (*Shearwall*) dalam struktur gedung berfungsi untuk menahan gaya geser dan momen momen yang terjadi akibat gaya lateral. Dinding geser bekerja sebagai sebuah balok kantilever vertikal dan dalam menyediakan tahanan lateral, dinding geser menerima tekuk maupun geser. Untuk dinding seperti itu, geser maksimum V_u dan momen maksimum M_u terjadi pada dasar dinding. Jika tegangan lentur diperhitungkan, besar tegangan lentur tersebut akan dipengaruhi oleh beban aksial N_u (kombinasi aksial lentur). Dalam struktur bangunan ini dipakai model section dinding geser dengan tebal 40 cm. Sebagai contoh perhitungan, akan direncanakan dinding geser berdasarkan hasil analisa SAP 2000 yang mempunyai gaya paling maksimum.



Gambar 4. 32 Denah penempatan shearwall

Data perencanaan adalah sebagai berikut:

Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 390 MPa
Tebal dinding geser	= 40 cm
Bentang shearwall	= 2,75 m (Arah Y)
	= 3 m (Arah X)
Tinggi shearwall	= 46,55 m (keseluruhan)
Tebal selimut beton	= 40 mm

4.4.4.1 Gaya Geser Rencana Dinding Geser

Dinding geser harus mempunyai tulangan geser horisontal dan vertikal. Sebagai contoh perhitungan, akan direncanakan dinding geser pada lantai dasar. Dari hasil analisa struktur dengan menggunakan program SAP 2000 didapatkan kombinasi envelope beban maksimum sebagai berikut:

Tabel 4. 27 Output gaya dalam dinding geser (SAP2000)

Kombinasi	Arah X			Arah Y		
	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kNm)	Aksial (kN)	Geser (kN)	Momen (kNm)
Envelope	11070,676	1751,728	5355,31	9530,714	1444,883	3916,938

4.4.4.2 Kuat Aksial Rencana

Kuat aksial rencana dihitung berdasarkan (SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.2)

$$\phi P_{nw} = 0,55 \phi f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{k \cdot \ell_c}{32h} \right)^2 \right]$$

Dimana:

ℓ_c = panjang kolom

h = tebal dinding geser

k = factor panjang efektif, dimana $k = 0,8$

- Untuk arah X

$$P_u = 11070,676 \text{ kN}$$

$$A_g = 3000 \times 400 = 12 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_{nw} = 0,55 \times 0,75 \times 30 \times 12 \times 10^5 \left[1 - \left(\frac{0,8 \times 3325}{32 \times 400} \right)^2 \right]$$

$$= 14208687,38 \text{ N}$$

$$= 14208,69 \text{ kN} > P_u = 11070,676 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

- Untuk arah Y

$$P_u = 9530,714 \text{ kN}$$

$$A_g = 2750 \times 400 = 11 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_{nw} = 0,55 \times 0,75 \times 30 \times 11 \times 10^5 \left[1 - \left(\frac{0,8 \times 3325}{32 \times 400} \right)^2 \right]$$

$$= 13024630,1 \text{ N}$$

$$= 13024,63 \text{ kN} > P_u = 9530,714 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

4.4.4.3 Pemeriksaan Tebal Dinding Geser

Tebal dinding dianggap cukup bila dihitung memenuhi (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.3)

$$\phi V_n = \phi 0,83 \sqrt{f'c} h.d \geq V_u$$

Dimana:

h = tebal dinding geser

$$d = 0,8 \ell_w$$

- Untuk arah X

$$V_u = 1751,728 \text{ kN}$$

$$d = 0,8 \times 3000$$

$$= 2400 \text{ mm}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 0,83 \sqrt{30} \times 400 \times 2400$$

$$= 3273190,004 \text{ N}$$

$$= 3273,19 \text{ kN} > V_u = 1751,728 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

- Untuk arah Y

$$V_u = 1444,883 \text{ kN}$$

$$d = 0,8 \times 2750$$

$$= 2200 \text{ mm}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 0,83 \sqrt{30} \times 400 \times 2400$$

$$= 3000424,17 \text{ N}$$

$$= 3000,424 \text{ kN} > V_u = 1444,883 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

4.4.4.4 Kuat Geser Beton

Perhitungan kuat geser yang disumbangkan oleh beton dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.6.

$$V_c = 0,27 \lambda \sqrt{f'_c} \times h \times d + \frac{N_u \times d}{4 \times \ell_w}$$

- Untuk arah X

$$N_u = P_u = 11070,676 \text{ kN}$$

$$\ell_w = 3000 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 \times 3000$$

$$= 2400 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,27 \times 1 \times \sqrt{30} \times 400 \times 2400 + \frac{11070,676 \times 2400}{4 \times 3000}$$

$$= 1421911,004 \text{ N}$$

$$= 1421,91 \text{ kN}$$

$$V_u < 0,5 \phi V_c$$

$$1751,728 \text{ kN} < 0,5 \times 0,75 \times 1421,91 \text{ kN}$$

$$1751,728 \text{ kN} > 533,2166 \text{ kN}$$

Karena $V_u < 0,5 \phi V_c$, maka $\phi V_n > V_u$.

Dimana:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

A_v = luas tulangan horizontal

s = jarak tulangan horizontal

- Untuk arah Y

$$N_u = P_u = 9530,714 \text{ kN}$$

$$\ell_w = 2750 \text{ mm}$$

$$d = 0,8 \times 2750$$

$$= 2200 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,27 \times 1 \times \sqrt{30} \times 400 \times 2200 + \frac{9530,714 \times 2200}{4 \times 2750}$$

$$= 1303294,939 \text{ N}$$

$$= 1303,295 \text{ kN}$$

$$V_u < 0,5\phi V_c$$

$$1751,728 \text{ kN} < 0,5 \times 0,75 \times 1303,295 \text{ kN}$$

$$1751,728 \text{ kN} > 488,736 \text{ kN}$$

Karena $V_u < 0,5\phi V_c$, maka $\phi V_n > V_u$.

Dimana:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

A_v = luas tulangan horizontal

s = jarak tulangan horizontal

4.4.4.5 Penulangan Geser Dinding Geser

Sedikitnya harus dipakai dua lapis tulangan bila gaya geser di dalam bidang dinding diantara 2 komponen batas melebihi $0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c} \times \lambda$, dimana A_{cv} adalah luas netto yang dibatasi oleh tebal dan panjang penampang dinding (SNI 03-2847-2013 pasal 21.9.2.2)

- Arah X

$$V_u = 1751,73 > 0,17 \times (3000 \times 400) \times \sqrt{30}$$

$$= 1751,73 \text{ kN} > 1117354,017 \text{ N}$$

$$= 1751,73 \text{ kN} > 1117,354 \text{ kN}$$

Maka diperlukan minimal dua lapis tulangan

- Arah Y

$$\begin{aligned} V_u &= 1444,883 \text{ kN} > 0,17 \times (2750 \times 400) \times \sqrt{30} \\ &= 1444,883 \text{ kN} < 1024241,183 \text{ N} \\ &= 1444,883 \text{ kN} < 1024,241 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka diperlukan minimal dua lapis tulangan

4.4.4.6 Penulangan Geser Horizontal

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.9 rasio tulangan geser horizontal terhadap luas beton bruto penampang vertikal tidak boleh kurang dari 0,0025

- Untuk arah X

Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $\ell_w / 5 = 3000 / 5 = 600 \text{ mm}$
- $3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$
- 450mm.

Maka, dipakai jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$.

Dipakai tulangan horizontal dua lapis 2D13 ($A_s = 265,46 \text{ mm}^2$)

$$\rho_t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{265,46}{400 \times 250} = 0,00265$$

$$\rho_t = 0,00265 < \rho_{\min} = 0,0025 \dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v f_y d}{s} \\ &= \frac{265,46 \times 390 \times 2400}{250} \\ &= 993899,385 \text{ N} = 993,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 1421,91 + 993,9 \\ &= 2415,81 \text{ kN} > V_u = 1751,728 \text{ kN} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan geser horizontal 2D13 - 250mm.

- Untuk arah Y

Spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a) $\ell_w / 5 = 2750 / 5 = 550 \text{ mm}$
- b) $3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$
- c) 450mm.

Maka, dipakai jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$.

Dipakai tulangan horizontal dua lapis 2D13 ($A_s = 265,46 \text{ mm}^2$)

$$\rho_t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{265,46}{400 \times 250} = 0,00265$$

$$\rho_t = 0,00265 < \rho_{\min} = 0,0025 \dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v f_y d}{s} \\ &= \frac{265,46 \times 390 \times 2400}{250} \\ &= 993899,385 \text{ N} = 993,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 1303,295 + 993,9 \\ &= 2297,194 \text{ kN} > V_u = 1444,883 \text{ kN} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan geser horizontal 2D13 - 250mm.

4.4.4.7 Batas Kuat Geser Tiap Dinding Struktural

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.9.9.4 rasio luas tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto penampang horizontal tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari:

$$\rho_\ell = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{\ell_w} \right) (\rho_t - 0,0025) < \rho_t$$

$$\text{dan } \rho_\ell = 0,0025$$

- Untuk arah X

$$\rho_\ell = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{3325}{3000} \right) (0,00265 - 0,0025) < \rho_t$$

$$\rho_\ell = 0,002608 < \rho_t = 0,00265$$

$$\text{Maka, } \rho_{\ell_{\min}} = 0,002608$$

Spasi tulangan geser vertikal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$a) \ell_w / 3 = 3000 / 3 = 1000 \text{ mm}$$

$$b) 3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$$

$$c) 450 \text{ mm.}$$

Maka, dipakai jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$.

Dipakai tulangan vertikal dua lapis 2D13 ($A_s = 265,46 \text{ mm}^2$)

$$\rho_t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{265,46}{400 \times 250} = 0,00265$$

$$\rho_t = 0,00265 < \rho_{\min} = 0,002608 \dots \text{OK}$$

Maka, digunakan tulangan geser vertikal 2D13 - 250mm.

- Untuk arah Y

$$\rho_\ell = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{3325}{2750} \right) (0,00265 - 0,0025) < \rho_t$$

$$\rho_\ell = 0,0026 < \rho_t = 0,00265$$

Maka, $\rho_{\ell \min} = 0,0026$

Spasi tulangan geser vertikal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

$$d) \ell_w / 3 = 2750 / 3 = 916,67 \text{ mm}$$

$$e) 3h = 3 \times 400 = 1200 \text{ mm}$$

$$f) 450 \text{ mm.}$$

Maka, dipakai jarak tulangan $s = 250 \text{ mm}$.

Dipakai tulangan vertikal dua lapis 2D13 ($A_s = 265,46 \text{ mm}^2$)

$$\rho_t = \frac{A_s}{h \times s} = \frac{265,46}{400 \times 250} = 0,00265$$

$$\rho_t = 0,00265 < \rho_{\min} = 0,002608 \dots \text{OK}$$

Maka, digunakan tulangan geser vertikal 2D13 - 250mm.

4.5 Perencanaan Sambungan

4.5.1 Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

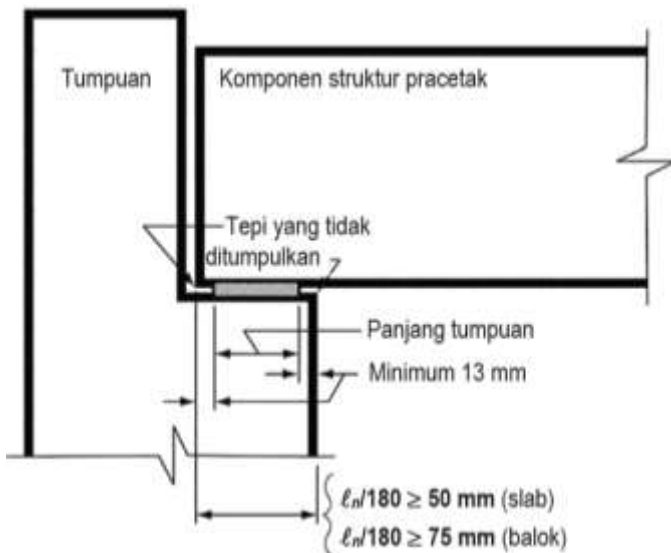
Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat (*cast in situ*).

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 L_n$
- Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
- Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm

Dimana L_n = bentang bersih elemen pracetak

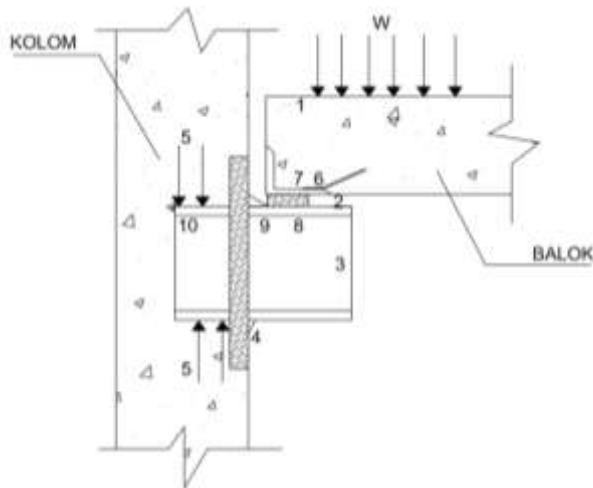


Gambar 4. 33 Panjang Tumpuan pada Tumpuan

4.5.2 Konsep Desain Sambungan

4.5.2.1 Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh seperti Gambar 4.34 dimana pemindahan beban diteruskan kekolom dengan melalui tahap sebagai berikut:



Gambar 4. 34 Mekanisme Pemindahan Beban

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan/ikatan.
2. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
3. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.

4.5.2.2 Klasifikasi Sistem dan Sambungannya

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan:

1. Lokasi penyambungan

Portal daktil dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktilnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

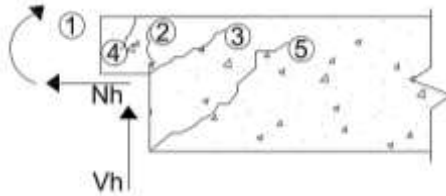
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Daktil*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktil dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

2. Jenis alat penyambung

- *Shell pracetak* dengan bagian intinya di cor beton setempat
- *Cold joint* yang diberi tulangan biasa
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint digROUT.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, dimana joint tidak digROUT.
- *Sambungan-sambungan mekanik*

4.5.2.3 Pola-pola Kehancuran

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing masing pola-pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 4.35

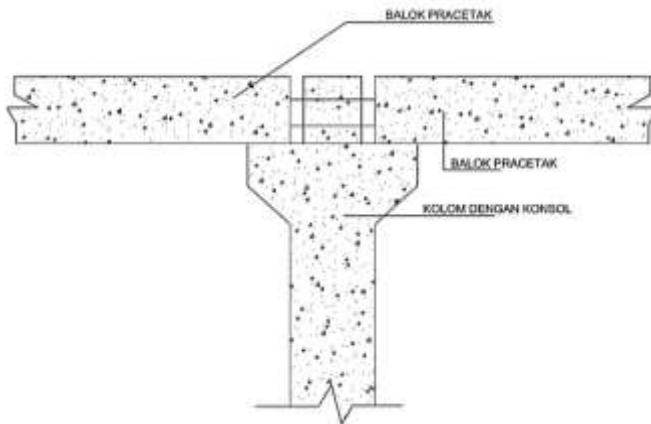


Gambar 4. 35 Model keruntuhan

PCI desain handbook memberikan 5 pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok yaitu sebagai berikut

- 1) lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
- 2) Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
- 3) Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
- 4) Tarik diagonal pada ujung akhir
- 5) Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada tugas akhir ini penulis merencanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan). Berikut disajikan permodelannya dalam gambar 4.36 berikut ini:



Gambar 4. 36 Model sambungan balok pada konsol kolom

4.5.3 Penggunaan Topping Beton

Penggunaan topping beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utamanya adalah:

- 1) Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- 2) Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertical antar komponen pracetak lebih merata.
- 3) Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau camber mereduksi kebocoran air.

Tebal topping umumnya berkisar antara 50 mm sampai 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui $5,50 \text{ kg/cm}^2$. Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka topping beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut. Kebutuhan baja tulangan pada topping dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \geq A_{vf} \text{ min}$$

dimana:

A_{vf} = luas tulangan geser friksi

V_n = luas geser nominal $< 0,2 f_c A_c$ (Newton)

$< 5,5 A_c$ (Newton)

A_c = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

F_y = kuat leleh tulangan

μ = koefisien friksi (1)

$A_{vf} \text{ min} = 0,018 A_c$ untuk baja tulangan mutu $< 400 \text{ Mpa}$

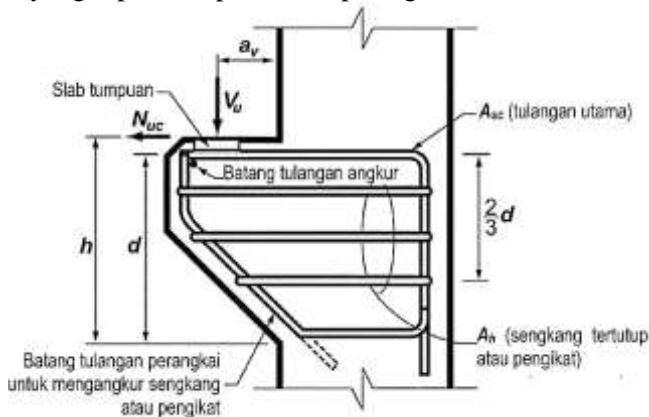
$= 0,018 \times 400/f_y$ untuk tulangan $f_y > 400 \text{ Mpa}$ diukur

pada tegangan leleh 0,35% dalam segala hal tidak boleh kurang dari $0,0014 A_c$

4.5.4 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

4.5.4.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar 4.37 berikut ini:



Gambar 4. 37 Geometrik konsol pendek

Ketentuan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut:

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a_v/d tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc} , tidak lebih besar daripada V_u . Tinggi efektif d harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari $0,5d$
3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan V_u suatu momen terfaktor $V_{ua} + N_{uc}(h-d)$, dan gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc}

- 1) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8, \emptyset harus diambil sama dengan 0,75
- 2) Desain tulangan geser-friksi A_{vf} untuk menahan V_u harus sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8:
 - a) Untuk beton berat normal, V_n tidak boleh melebihi yang terkecil dari $0,2f_c' b_w d$, $(3,3+0,08f_c')b_w d$, dan $11 b_w d$.
 - b) Untuk beton ringan atau ringan pasir, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $\left(0,2 - 0,07 \frac{a}{d}\right) f_c' b_w d$ dan $\left(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}\right) b_w d$
 - c) Tulangan A_f untuk menahan momen terfaktor
 - a. $[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$ harus dihitung menurut SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 10.2 dan pasal 10.3
 - d) Tulangan A_n untuk menahan gaya Tarik terfaktor N_{uc} harus ditentukan dari $\emptyset A_n f_y \geq N_{uc}$. Gaya tarik terfaktor, N_{uc} tidak boleh diambil kurang dari $0,2V_u$ kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya Tarik. N_{uc} harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana Tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkai, susut, atau perubahan suhu.
 - e) Luas tulangan Tarik utama A_{sc} tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari $(A_f + A_n)$ dan $\left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n\right)$
4. Luas total A_h , sengkang tertutup atau pengikat parallel terhadap tulangan Tarik utama tidak boleh kurang dari $0,5(A_{sc} - A_n)$, Distribusikan A_h secara merata dalam $(2/3)d$ bersebelahan dengan tulangan tarik utama
5. $\frac{A_{sc}}{bd}$ tidak boleh kurang dari $0,04 \frac{f_c}{f_y}$
6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkur dengan salah satu dari berikut:
 - a) Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan f_y tulangan Tarik utama

- b) Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal atau
 - c) Dengan suatu cara pengangkurkan baik lainnya
7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan)

4.5.4.2 Penulangan Konsol pada Kolom

a. Data perencanaan

V_u output analisis dengan software SAP2000 = 597504,33 N

Dimensi Balok = 50/70

Dimensi konsol:

$$\begin{aligned}
 b_w &= 500 \text{ mm} \\
 h &= 400 \text{ mm} \\
 d &= 400 - 40 - 25 = 335 \text{ mm} \\
 f_c' &= 30 \text{ MPa} \\
 f_y &= 390 \text{ MPa} \\
 a_v &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 150 / 335 = 0,41 < 1 \dots \text{OK}$
- $N_{uc} \geq 0,2V_u$
 $N_{uc} = 0,2 \times 597504,33 = 119500,866 \text{ N}$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{597504,33}{0,75} = 796672,4 \text{ N}$$

b. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$a) 0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 30 \times 500 \times 335$$

$$= 1005000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$b) (3,3 + 0,08 f_c') b_w d = (3,3 + 0,08 \times 30) 500 \times 335$$

$$= 954750 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$c) 11 b_w d = 11 \times 500 \times 335$$

$$= 1842500 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu}$$

$$= \frac{7966724}{390 \times 1,4}$$

$$= 1459,107 \text{ mm}^2$$

c. Luas tulangan lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$M_u = V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d)$$

$$= (597504,33 \times 150) + (119500,866 \times (400-335))$$

$$= 97393205,79 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times b \times d^2} = \frac{97393205,79}{0,8 \times 500 \times 335^2} = 2,17$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,17}{390}} \right) = 0,0058\end{aligned}$$

$\rho = 0,0058 > \rho_{\min} = 0,0036$, maka dipakai $\rho = 0,0058$

$$\begin{aligned}A_{f1} &= \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} \\ A_{f1} &= \frac{97393205,79}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 335} = 1349,233 \text{ mm}^2 \\ A_{f2} &= \rho \times b \times d \\ A_{f2} &= 0,0058 \times 500 \times 335 \\ A_{f2} &= 975,235 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jadi dipakai $A_f = 975,235 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok As:

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{119500,866}{0,75 \times 390} = 408,55 \text{ mm}^2$$

d. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 975,235 + 408,55 = 1383,785 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 1459,107}{3} \right) + 408,55 = 1381,288 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$A_{sc \min} = 0,04 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) b \times d = 0,04 \left(\frac{30}{390} \right) 500 \times 335 = 515,385 \text{ mm}^2$$

Maka, $A_{sc} = 1383,785 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{sc}}{A_s D25} \\ &= \frac{1383,785}{490,8739} = 2,82 \approx 3 \text{ buah}\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan utama 3D25 ($A_s = 1472,62 \text{ mm}^2$)

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n) = 0,5 (1383,785 - 408,55) = 487,62 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan sengkang 2D13 ($A_v = 265,46 \text{ mm}^2$) dan dipasang sepanjang $(2/3) d = 233,33 = 250 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_h}{A_s D13} \\ &= \frac{487,62}{265,46} = 1,84 \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

e. Luas pelat landasan:

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{597504,33}{0,85 \times 30 \times 0,75} = 31242,06 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $200 \times 300 \text{ mm}^2 = 60000 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

4.5.4.3 Perhitungan Sambungan Balok Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

a. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

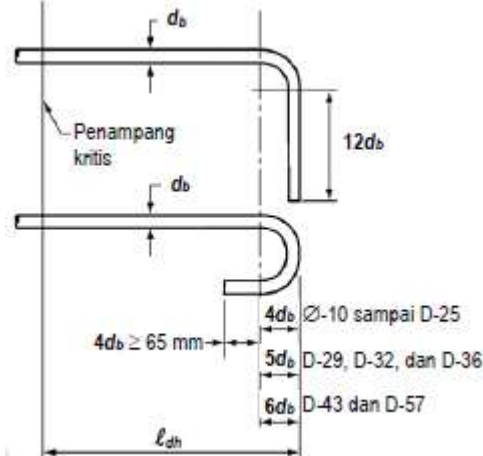
$$\begin{aligned}
 \ell_{dc} &\geq (0,24f_y/\lambda\sqrt{f'_c})db \\
 &\geq (0,24 \times 390/1\sqrt{30})22 \\
 &\geq 375,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_{dc} &\geq (0,043f_y)db \\
 &\geq (0,043 \times 390)22 \\
 &\geq 368,94 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai $\ell_d = 375,96 \approx 380 \text{ mm}$.

b. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

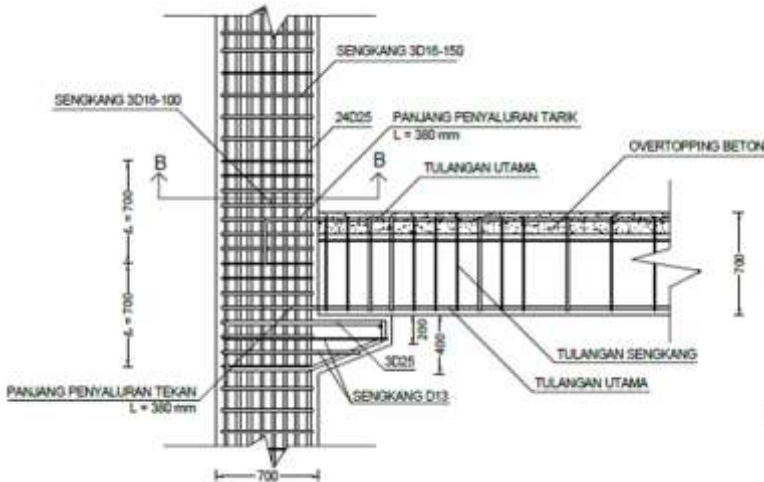
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



Gambar 4. 38 Detail batang tulangan dengan kait standar

- $\ell_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $\ell_{dh} = (0,24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) d_b$
 $= (0,24 \times 1 \times 390 / 1 \times \sqrt{30}) \times 22 = 375,96 \text{ mm}$

Maka dipakai $\ell_{dh} = 380$ mm dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12\ db = 12 \times 22 = 264\ mm \approx 270\ mm$



Gambar 4. 39 Panjang Penyaluran Balok Induk

4.5.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

4.5.5.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok anak diletakan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek.

4.5.5.2 Penulangan Konsol pada Balok Induk

a. Data perencanaan

V_u pada balok anak = 111507 N

Dimensi Balok Anak = 30/50

Dimensi konsol:

$b_w = 200\ mm$

$$\begin{aligned}
 h &= 200 \text{ mm} \\
 d &= 200 - 40 - 22 = 138 \text{ mm} \\
 f_c' &= 30 \text{ MPa} \\
 f_y &= 390 \text{ MPa} \\
 a_v &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 100 / 138 = 0,72 < 1 \dots \text{OK}$

- $N_{uc} \geq 0,2V_u$

$$N_{uc} = 0,2 \times 111507 = 22301,4 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{111507}{0,75} = 148676 \text{ N}$$

b. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada:

d) $0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 30 \times 200 \times 138$

$$= 165600 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

e) $(3,3 + 0,08f_c') b_w d = (3,3 + 0,08 \times 30) 200 \times 138$

$$= 157320 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

f) $11 b_w d = 11 \times 200 \times 138$

$$= 303600 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$\begin{aligned}
 A_{vf} &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\
 &= \frac{148676}{390 \times 1,4} \\
 &= 272,3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Luas tulangan lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum.

$$\begin{aligned} Mu &= V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\ &= (111507 \times 100) + (22301,4 \times (200-138)) \\ &= 12533386,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{Mu}{0,8 \times b \times d x^2} = \frac{12533386,8}{0,8 \times 200 \times 138^2} = 4,11$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 4,11}{390}} \right) = 0,0116 \end{aligned}$$

$$\rho = 0,0116 > \rho_{min} = 0,0036, \text{ maka dipakai } \rho = 0,0116$$

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{f1} = \frac{12533387}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 138} = 365,296 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \times b \times d$$

$$A_{f2} = 0,0116 \times 200 \times 138$$

$$A_{f2} = 319,352 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jadi dipakai } A_f = 319,352 \text{ mm}^2$$

Tulangan pokok As:

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{22301,4}{0,75 \times 390} = 76,244 \text{ mm}^2$$

d. Pemilihan tulangan yang digunakan

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc} = A_f + A_n = 319,352 + 76,244 = 395,596 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc} = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 272,3}{3} \right) + 76,244 = 257,778 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$A_{sc \min} = 0,04 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) b \times d = 0,04 \left(\frac{30}{390} \right) 200 \times 138 = 84,9231 \text{ mm}^2$$

Maka, $A_{sc} = 395,596 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{sc}}{A_s D22} \\ &= \frac{395,596}{380,13} = 1,041 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan utama 2D22 ($A_s = 760,265 \text{ mm}^2$)

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_h = 0,5 (A_{sc} - A_n) = 0,5 (395,596 - 76,244) = 159,676 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan sengkang 2D13 ($A_v = 265,46 \text{ mm}^2$) dan dipasang sepanjang $(2/3) d = 92 = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_h}{A_s D13} \\ &= \frac{159,676}{265,46} = 0,6 \approx 1 \text{ buah} \end{aligned}$$

e. Luas pelat landasan:

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{111507}{0,85 \times 30 \times 0,75} = 5830,431 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $150 \times 150 \text{ mm}^2 = 22500 \text{ mm}^2$ (tebal 15 mm)

4.5.5.3 Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok anak, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.

a. Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

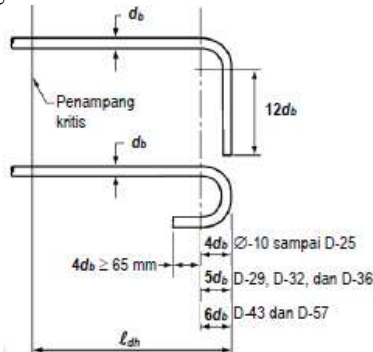
$$\begin{aligned} \ell_{dc} &\geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'c})db \\ &\geq (0,24 \times 390/1\sqrt{30})22 \\ &\geq 375,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_{dc} &\geq (0,043fy)db \\ &\geq (0,043 \times 390)22 \\ &\geq 368,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai $\ell_d = 375,96 \approx 380 \text{ mm}$.

b. Panjang penyaluran kait standar dalam tarik

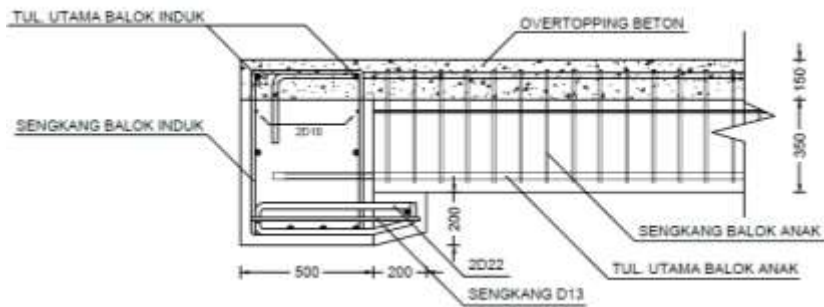
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



Gambar 4. 40 Detail batang tulangan dengan kait standar

- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 22 = 176 \text{ mm}$
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $l_{dh} = (0,24 \psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'c}) d_b$
 $= (0,24 \times 1 \times 390 / 1 \times \sqrt{30}) \times 22 = 375,96 \text{ mm}$

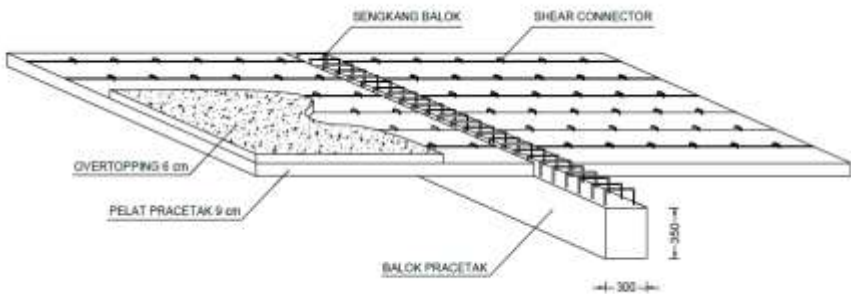
Maka dipakai $l_{dh} = 380 \text{ mm}$ dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar 90° sebesar $12 d_b = 12 \times 22 = 264 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm}$



Gambar 4. 41 Panjang Penyaluran Balok Anak

4.5.6 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintas tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat.



Gambar 4. 42 Panjang Penyaluran Pelat

4.5.6.1 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Type C

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat type C sebagai berikut:

$$d_b = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah X} - A_s \text{ perlu} & : 450 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ terpasang} & : 471,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah Y} - A_s \text{ perlu} & : 230 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ terpasang} & : 235,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

a. Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan:

$$\alpha : \text{faktor lokasi penulangan} = 1$$

$$\beta : \text{faktor pelapis} = 1$$

$$\lambda : \text{faktor beton normal} = 1$$

$$\frac{\ell_d}{12} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25\sqrt{30}}$$

$$\ell_d = 445,79 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 450 \text{ mm}$

- Kondisi tekan
Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 390 = 167,7 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{12 \times 390}{4 \times \sqrt{30}} = 178 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 178 \times \frac{470}{471,24} = 177,54 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 200 \text{ mm}$

b. Penyaluran Arah Y

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f'_c}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan:

α : faktor lokasi penulangan = 1

β : faktor pelapis = 1

λ : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{12} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25\sqrt{30}}$$

$$\ell_d = 445,79 \text{ mm}$$

Dipakai $\ell_d = 450 \text{ mm}$

- Kondisi tekan
Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 12 \times 390 = 167,7 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f'_c}} = \frac{12 \times 390}{4 \times \sqrt{30}} = 178 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 178 \times \frac{230}{4235,62} = 173,76 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai } \ell_d = 200 \text{ mm}$$

4.6 Perencanaan Pondasi

4.6.1 Umum

Perencanaan pondasi merupakan perencanaan struktur bawah bangunan. Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* produk dari PT Wijaya Karya Beton. Pembahasan pada bab perencanaan pondasi meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan, perencanaan poer (*pile cap*) dan perencanaan sloof (*Tie beam*).

4.6.2 Data Tanah

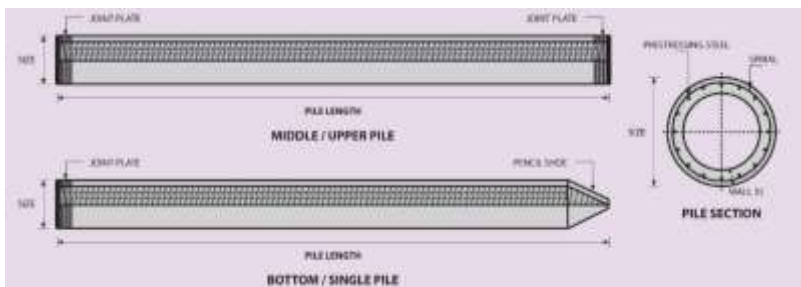
Data tanah diperlukan untuk merencanakan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut. Data tanah didapatkan melalui penyelidikan tanah pada lokasi dimana struktur tersebut akan dibangun. Dalam hal ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung tower C apartemen Aspen Admiralty adalah data tanah pembangunan Wisma Pondok Indah Jakarta Selatan.

4.6.3 Kriteria Design

4.6.3.1 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* produk dari PT Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang $f_c' = 52$ MPa atau K-600 (*Cube* 600kg/cm²).



Gambar 4. 43 *Prestressed Concrete Spun Pile*

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan,

- *Size* : 600 mm
- *Thickness Wall* : 100 mm
- *Cross Section* : 15780,8 cm²
- *Class* : A1
- *Bending momen crack* : 17 tm
- *Bending momen ultimate* : 25,5 tm
- *Allowable Compression* : 252,7 ton
- *Length of Pile* : 6 – 24 m

4.6.4 Daya Dukung

4.6.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang

pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah (Q_s). Sehingga daya dukung total dari tanah dapat dirumuskan:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Di samping peninjauan berdasarkan kekuatan tanah tempat pondasi tiang pancang ditanam, daya dukung suatu tiang juga harus ditinjau berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang tersebut.

Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal yang berdiri sendiri dan daya dukung tiang pancang dalam kelompok. Perhitungan daya dukung tiang pancang ini dilakukan berdasarkan hasil uji *SPT* menurut Luciano Decourt.

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana:

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = *Resistance ultime* di dasar pondasi

Q_s = *Resistance ultime* akibat lekatan lateral

$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$

Dimana :

A_p = Luas penampang ujung tiang

N_p = Harga rata-rata *SPT* 4B diatas dasar pondasi dan 4B dibawah dasar pondasi.

K = Koefisien karakteristik tanah

12 t/m² = 117,7 kPa, (untuk lempung)

20 t/m² = 196 kPa, (untuk lanau berlempung)

25 t/m² = 245 kPa, (untuk lanau berpasir)

40 t/m² = 392 kPa, (untuk pasir)

Q_p = Tegangan di ujung tiang

$Q_s = q_s \cdot A_s = (N_s/3 + 1) \cdot A_s$

Dimana :

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m²

N_s = Harga rata-rata *SPT* sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan ; $3 \leq N \leq 50$

A_s = Keliling x panjang tiang yang terbenam

Harga N di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan sebagai berikut (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

Dimana:

N = Jumlah pukulan kenyataan di lapangan untuk di bawah muka air tanah

4.6.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Untuk daya dukung pondasi group, terlebih dahulu dikoreksi dengan apa yang disebut dengan koefisien efisiensi Ce.

$$Q_L (\text{group}) = Q_L (1 \text{ tiang}) \times n \times \eta$$

dengan n = jumlah tiang dalam group

Daya dukung pondasi kelompok menurut Converse Labarre adalah :

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right]$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam group

n = jumlah kolom tiang pancang dalam group

4.6.4.3 Repartisi Beban di Atas Tiang Berkelompok

Bila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (*poer*) bekerja beban-beban vertikal (V), horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertical ekuivalen (P_v) yang bekerja pada sebuah tiang adalah

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2}$$

Dimana :

P_i = Total beban yang bekerja pada tiang yang ditinjau

y_{\max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah y

x_{\max} = jarak maksimum tiang yang ditinjau dalam arah x

Σx_i^2 = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah x

Σy_i^2 = jumlah kuadrat jarak tiang pancang terhadap as poer arah y

nilai x dan y positif jika arahnya sama dengan arah e, dan negatif bila berlawanan dengan arah e.

4.6.5 Perhitungan Tiang Pancang

Untuk perencanaan pondasi diambil gaya-gaya dalam yang paling maksimum pada perletakan kolom sehingga untuk pondasi kolom yang lain direncanakan tipikal.

Dari hasil analisa struktur dengan menggunakan program bantu SAP 2000 didapat gaya-gaya dalam pada perletakan kolom dengan kombinasi **1,0D + 1,0L** sebagai berikut:

$$P = 658,631 \text{ t}$$

$$M_{ux} = 4,97 \text{ tm}$$

$$M_{uy} = 7,34 \text{ tm}$$

$$H_x = 7,12 \text{ t}$$

$$H_y = 3,37 \text{ t}$$

4.6.5.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Dari data tanah didapatkan hasil perhitungan untuk kedalaman 20 m dengan diameter tiang pancang 600 mm (lihat Tabel 9.1). Dari data tanah tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan *Luciano Decourt*:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana:

$$\begin{aligned} Q_p &= (N_p \times K) \times A_p \\ &= (51,2 \times 25 \times 0,283) = 361,91 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= (N_s/3 + 1) \times A_s \\ &= (18,67/3 + 1) \times 39,584 = 272,27 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_p + Q_s \\ &= 361,91 + 271,27 = 634,18 \text{ t} \end{aligned}$$

$$Q_U = \frac{Q_L}{S_f} = \frac{634,18}{3} = 211,394 \text{ t}$$

Dari hasil Q_u yang didapatkan maka rencana jumlah tiang pancang adalah:

$$n = \frac{P_u}{Q_u} = \frac{658,631}{211,394} = 3,12 \approx 5 \text{ buah}$$

Secara lengkap perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal disajikan dalam tabel 4.25 berikut ini:

Tabel 4. 28 Daya dukung tiang pancang tunggal

D (m)	N- SPT	Jenis Tanah	N _p	K t/m ²	qp t/m ²	qs t/m ²	Q _p Ton	Q _s Ton	Q _l Ton	Q _{ijin} ton	n _{min} Tiang
0	0	LL	8,33	20	166,7	3,5	47,1	0	47,1	15,7	41,9
1	2	LL	8,5	20	170	3,7	48,1	6,9	545	18,3	35,9
2	3	LL	8,5	20	170	3,8	48,1	14,2	62,3	20,8	31,7
3	3	LL	8,8	20	176	3,8	49,8	21,7	71,4	23,8	27,7
4	2	LL	9	20	180	3,8	50,9	28,9	79,8	26,6	24,8
5	3	LL	9,3	20	186	3,9	52,6	36,4	89	29,7	22,2
6	4	LL	9,7	20	194	3,9	54,9	44,2	99	33	20
7	6	LP	10,1	25	252,5	4	71,4	52,5	123,9	41,3	16
8	7	LL	10,2	20	204	4,1	57,7	61,2	118,8	39,6	16,6
9	6	LL	10,1	20	202	4,1	57,1	69,6	126,7	42,2	15,6
10	4	LL	9,7	20	194	4,1	54,9	77,4	132,3	44,1	14,9
11	3	LL	10,9	20	218	4,1	61,6	85	146,6	48,9	13,5
12	2	LL	12,5	20	250	4,1	70,7	92,2	162,9	54,3	12,1
13	19	LL	13,1	20	262	4,3	74,1	104,4	178,5	59,5	11,1
14	22	LL	20,6	20	412	4,5	116,5	117,6	234,1	78	8,4
15	10	LL	29	20	580	4,5	164	127,2	291,2	97,1	6,8
16	78	LP	30,5	25	762,5	5,2	215,6	157	372,6	124,2	5,3
17	86	LP	35,8	25	895	5,9	253,1	189,3	442,4	147,5	4,5
18	34	LL	44,8	20	896	6,1	253,3	206,3	459,6	153,2	4,3
19	75	LP	48,1	25	1202,5	6,6	340	235,5	575,5	191,8	3,4

20	100	LP	51,2	25	1280	7,2	361,9	272,3	634,2	211,4	3,1
21	111	P	59,8	40	2392	7,9	676,3	312,5	988,8	329,6	2
22	117	P	64,3	40	2572	8,6	727,2	354,6	1081,8	360,6	1,8
23	120	P	64,9	40	2596	9,2	734	397,7	1131,7	377,2	1,7
24	120	P	64	40	2560	9,8	723,8	440,9	1164,8	388,3	1,7
25	106	P	62,8	40	2512	10,2	710,3	480	1190,3	396,8	1,7

Keterangan:

LL = Lanau berlempung

LP = Lanau berpasir

P = Pasir

4.6.5.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Pondasi tiang pancang direncanakan dengan diameter 60cm. Jarak dari as ke as antar tiang pancang direncanakan seperti pada perhitungan di bawah ini:

▪ Untuk jarak antar tiang pancang:

$$2 D \leq S \leq 3 D$$

$$2 \times 60 \leq S \leq 3 \times 60$$

$$120 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 170 cm

▪ Untuk jarak tiang pancang:

$$1 D \leq S_1 \leq 2 D$$

$$1 \times 60 \leq S_1 \leq 2 \times 60$$

$$60 \text{ cm} \leq S_1 \leq 120 \text{ cm}$$

Digunakan jarak tiang ke tepi = 60 cm

Dimana : S = jarak antar tiang pancang

S₁ = jarak tiang pancang ke tepi

Dipakai : jarak antar tiang pancang (S) = 170 cm

Jarak tepi tiang pancang (S₁) = 60 cm

Pada pondasi tiang grup/kelompok, terlebih dahulu dikoreksi dengan suatu faktor yaitu faktor efisiensi, yang dirumus pada persamaan di bawah ini:

$$Q_{L \text{ (group)}} = Q_{L \text{ (1 tiang)}} \times \eta$$

$$(\eta) = 1 - \arctg\left(\frac{D}{S}\right) \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right]$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang

S = jarak antar tiang pancang

m = jumlah baris tiang pancang dalam 1 baris

n = jumlah kolom tiang pancang

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \arctg\left(\frac{600}{1700}\right) \left[\frac{(2-1)5 + (5-1)2}{90 \times 5 \times 2} \right] = 0,72$$

Sehingga :

$$Q_{ijin \text{ grup}} = \eta \times Q_{ijin \text{ 1tiang}} \times n$$

$$= 0,72 \times 211,4 \times 5$$

$$= 760,173 \text{ t} > P_u = 658,631 \text{ t}$$

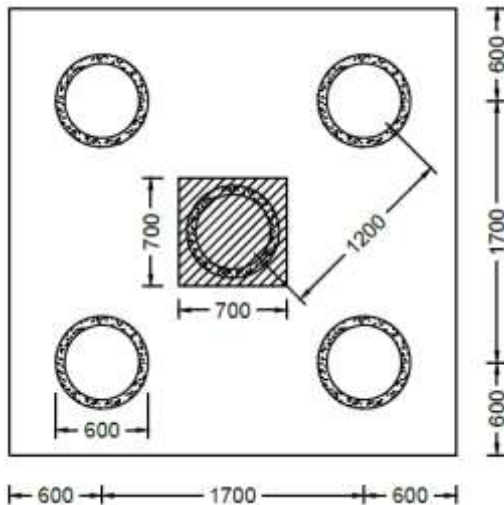
Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

$$P_u = 658,631 \text{ ton}$$

$$Q_{L \text{ (groups)}} = 2,9 \times 2,9 \times 0,8 \times 2,4 = 16,147 \text{ ton} \pm$$

$$\text{Berat total} = 674,778 \text{ ton}$$

$$Q_{L \text{ (groups)}} = 760,173 \text{ ton} > P = 674,778 \text{ ton} \text{OK!!}$$



Gambar 4. 44 Konfigurasi rencana tiang pancang

4.6.5.3 Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang (P_{\max})

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang, namun yang diperhitungkan hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur, sehingga berlaku persamaan:

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \times y_{\max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \times x_{\max}}{\sum x_i^2} \leq P_{ijin(1tiang)}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

- | | |
|---|--------------|
| a. Reaksi kolom | = 658631 kg |
| b. Berat poer = $2,9 \times 2,9 \times 0,8 \times 2400$ | = 16147 kg + |
| Berat total ($\sum V$) | = 674778 kg |

Momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_x &= M_{ux} + (H_y \times t_{poer}) = 4967,14 + (3370,28 \times 0,8) \\ &= 7663,364 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_y = M_{uy} + (H_x \times t_{poer}) = 7341,69 + (7116,1 \times 0,8) \\ = 13034,57 \text{ kgm}$$

Sehingga didapatkan :

$$P_{\max} = \frac{674778}{5} + \frac{(7663,364 \times 0,85)}{(4 \times 0,85^2)} + \frac{(13034,57 \times 0,85)}{(4 \times 0,85^2)} \\ = 141,043 \text{ t} \leq 211,4 \text{ t} \quad (\text{OK})$$

4.6.5.4 Kontrol Kekuatan Tiang

Sesuai dengan spesifikasi dari PT. WIKABETON direncanakan tiang pancang beton dengan:

- Diameter : 600 mm
- Tebal : 100 mm
- Type : A1
- Allowable compression : 252,7 t
- Bending moment crack : 17 tm
- Bending moment ultimate : 25,5 tm

Tiang pancang yang direncanakan di kontrol terhadap beberapa kriteria berikut ini:

a. Kontrol terhadap gaya aksial

Tiang pancang yang direncanakan dengan diameter 60 cm type A1 sesuai dengan spesifikasi dari PT. WIKABETON, gaya aksial tidak diperkenankan melebihi 235,4 Ton.

$$P_{\max} = 141,043 \text{ t} < P_{\text{ijin}} = 252,7 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

b. Kontrol terhadap gaya lateral

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

- Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter
- Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multilayer

L_e = panjang penjepitan

$$= 3 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ m} > 1,5 \text{ m}$$

Dipakai L_e = 1,8 m

M_y = $L_e \times H_y$

$$= 1,8 \times 3,37 \text{ t}$$

$$= 6,07 \text{ tm}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{6,07}{5} = 1,21 \text{ tm}$$

M_y < $M_{\text{bending crack}}$ (dari Spesifikasi WIKA BETON)

$$1,21 \text{ tm} < 17 \text{ tm} \dots\dots \text{OK}$$

M_x = $L_e \times H_x$

$$= 1,8 \times 7,12 \text{ t}$$

$$= 12,81 \text{ tm}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{12,81}{5} = 2,56 \text{ tm}$$

M_y < $M_{\text{bending crack}}$ (dari Spesifikasi WIKA BETON)

$$2,56 \text{ tm} < 17 \text{ tm} \dots\dots \text{OK}$$

Dari kedua perhitungan momen yang telah dilakukan maka untuk tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* dengan diameter 600 mm kelas A1 memenuhi persyaratan kontrol gaya lateral terhadap *Bending moment ultimate* tiang pancang.

4.6.6 Perencanaan Poer Satu Kolom

Perencanaan Poer dirancang untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Berdasarkan hal tersebut poer direncanakan harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data-data perencanaan :

- Dimensi poer ($B \times L$) = $2,9 \times 2,9 \text{ m}$
- Tebal poer (t) = $0,8 \text{ m}$
- Diameter tulangan utama = 25 mm

- Diameter sengkang = 13 mm
- Dimensi kolom = 700 × 700 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Tinggi efektif balok poer
 - Arah x (d_x) = $800 - 40 - \frac{1}{2} \times 25 = 747,5$ mm
 - Arah y (d_y) = $800 - 40 - 25 - \frac{1}{2} \times 25 = 722,5$ mm

4.6.6.1 Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

$$\text{Berat poer } (q_u) = 2,9 \times 0,8 \times 2,4 = 5,568 \text{ t/m}$$

$$P_t = 2P_{\text{maks}} = 2 \times 141,043 \text{ t} = 282,086 \text{ t}$$

$$a = \text{jarak as tiang pancang ke as poer} = 0,85 \text{ m}$$

$$b = \text{jarak as tiang pancang ke tepi poer} = 0,6 \text{ m}$$

Penulangan arah x

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (P_t \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\ &= (282,086 \times 0,85) - (1/2 \times 5,568 \times (0,85 + 0,6)^2) \\ &= 233,92 \text{ tm} = 2339201168 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 2900 \times d \times 10^6} = \frac{2339201168}{0,8 \times 2900 \times 747,5^2} = 1,8$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,8}{390}} \right) = 0,0048 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}}$
maka dipakai $\rho = 0,0048$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0048 \times 2900 \times 747,5 = 10412,49 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s \text{ D25}} \\ &= \frac{10412,49}{490,87} = 21,21 \approx 22 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 2900/22 = 131,82 \text{ mm}$$

Maka untuk arah X digunakan tulangan D25-125mm

Penulangan arah y

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= (P_t \times a) - (1/2 \times q \times (a + b)^2) \\ &= (282,086 \times 0,85) - (1/2 \times 5,568 \times (0,85 + 0,6)^2) \\ &= 233,92 \text{ tm} = 2339201168 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{Mu}{0,8 \times 2900 \times dx^2} = \frac{2339201168}{0,8 \times 2900 \times 922,5^2} = 1,93$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,93}{390}} \right) = 0,00516 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai $\rho = 0,00516$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,00516 \times 2900 \times 922,5 = 10803,02 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As \text{ D25}} \\ &= \frac{10803,02}{490,87} = 22,01 \approx 23 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 2900/23 = 126,087 \text{ mm}$$

Maka untuk arah Y digunakan tulangan D25-125mm

4.6.6.2 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Perencanaan pile cap harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1 Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari:

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.c

Dimana:

β = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

b_o = keliling dari penampang kritis pada pile cap

$$b_o = 2 (b_k + d) + 2(h_k + d)$$

dimana:

b_k = lebar penampang kolom

h_k = tinggi penampang kolom

d = tebal efektif pile cap

$$\begin{aligned} b_o &= 2 (700 + 747,5) + 2 (700 + 722,5) \\ &= 5740 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_c = \frac{700}{700} = 1$$

$\alpha_s = 40$, untuk kolom interior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 5740 \times 747,5 = 7990291,7 \text{ N} = 799,03 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \times \left(\frac{40 \times 747,5}{5740} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 5740 \times 747,5 = 10160641 \text{ N} \\ &= 1016,06 \text{ t} \end{aligned}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 5740 \times 747,5 = 7755283,1 \text{ N} = 775,53 \text{ t}$$

Diambil yang terkecil $V_c = 775, \text{ t}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 775,53 \text{ t} = 581,646 \text{ t}$$

$$= 581,646 \text{ ton} > P_{u \text{ kolom}} = 658,631 - 141,043$$

$$= 581,646 \text{ ton} > 517,588 \text{ ton} \dots\dots \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds.

4.6.6.3 Kontrol Geser Ponds Tiang Pancang

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.c

Dengan :

Dimensi poer : $2,9 \times 2,9 \times 0,8 \text{ m}^3$

Selimut beton : 40 mm

Ø tul utama : D25

Tinggi efektif : $d = 800 - 40 - \frac{1}{2} \times 25 = 747,5 \text{ mm}$

dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada pondasi tiang pancang

$$= \frac{700}{700} = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

$$= [2\pi \times (d + D_{\text{tiang}})]$$

$$= [2\pi \times (747,5 + 600)]$$

$$= 8466,59 \text{ mm}$$

$\alpha_s = 30$, untuk kolom eksterior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 8466,59 \times 747,5 = 17678713 \text{ N} = 1767,87 \text{ t}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{30 \times 747,5}{8466,59}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 8466,59 \times 747,5 = 7620480,7 \text{ N} = 762,05 \text{ t}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 8466,59 \times 747,5 = 11439167 \text{ N} = 1143,92 \text{ t}$$

Diambil yang terkecil $V_c = 762,05 \text{ t}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 762,05 \text{ t} = 571,536 \text{ t}$$

$$= 571,536 \text{ ton} > P_{u \text{ kolom}} = 658,631 - 141,043$$

$$= 571,536 \text{ ton} > 517,588 \text{ ton} \dots\dots \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran poer mampu menahan gaya geser akibat beban reaksi aksial tiang tepi.

4.6.6.4 Kontrol Balok Tinggi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.7 Balok tinggi adalah komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya dan ditumpu pada muka yang berlawanan sehingga strat tekan dapat membentuk di antara beban dan tumpuan, dan mempunyai salah satu antara:

- bentang bersih ℓ_n , sama dengan atau kurang dari empat kali tinggi komponen struktur keseluruhan h ; atau
- daerah dengan beban terpusat dalam jarak $2h$ dari muka tumpuan.

Balok tinggi harus didesain dengan memperhitungkan salah satu antara distribusi regangan nonlinier, atau dengan Lampiran A. (Lihat juga 11.7.1 dan 12.10.6).

$\ell_n \text{ poer} = 2900 \text{ mm} < 4h = 4 \times 800 = 3200 \text{ mm}$, sehingga poer termasuk balok tinggi.

Balok tinggi harus dikontrol sesuai ketentuan yang ada dalam SNI :

$$V_u = 399090 \text{ N (hasil SAP2000)}$$

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.7.3})$$

$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.7.4.1})$$

Dimana $S < d/5$ atau $S < 300 \text{ mm}$

$$d/5 = 1000/5 = 200 \text{ mm}$$

sehingga digunakan $S = 200 \text{ mm}$

Arah X

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$399090 \text{ N} \leq 0,75 \times 0,83 \times \sqrt{30} \times 2900 \times 747,5$$

$$399090 \text{ N} \leq 7391101,698 \text{ N} \dots \text{OK}$$

Digunakan tulangan geser D25-200mm ($A_v = 8590,29 \text{ mm}^2$)

$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 0,0025 \times 2900 \times 200$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 1450 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

Arah Y

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$399090 \text{ N} \leq 0,75 \times 0,83 \times \sqrt{30} \times 2900 \times 922,5$$

$$399090 \text{ N} \leq 7143907,662 \text{ N} \dots \text{OK}$$

Digunakan tulangan geser D25-200mm ($A_v = 8590,29 \text{ mm}^2$)

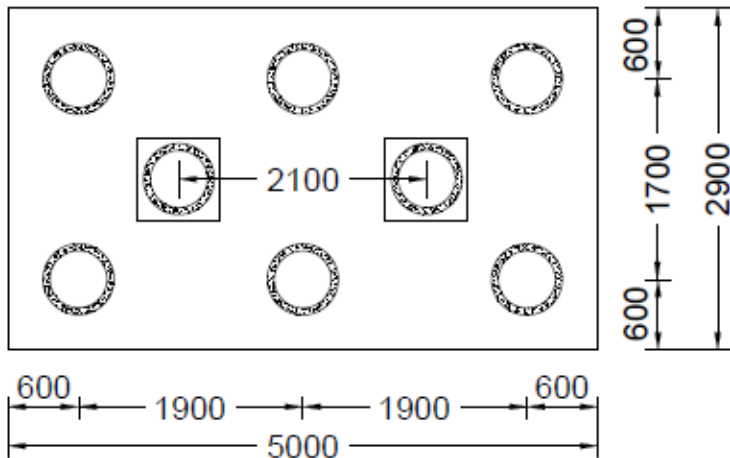
$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 0,0025 \times 2900 \times 200$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 1450 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

4.6.7 Perencanaan Poer Dua Kolom

Perencanaan Poer dirancang untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Berdasarkan hal tersebut poer direncanakan harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.



Gambar 4. 45 Konfigurasi Poer dengan Dua Kolom

Data-data perencanaan :

- Dimensi poer ($B \times L$) = $2,9 \times 5$ m
- Tebal poer (t) = 1 m
- Diameter tulangan utama = 25 mm
- Diameter sengkang = 13 mm
- Dimensi kolom = 700×700 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Tinggi efektif balok poer
 $\text{Arah x } (d_x) = 1000 - 40 - \frac{1}{2} \times 25 = 947,5$ mm
 $\text{Arah y } (d_y) = 1000 - 40 - 25 - \frac{1}{2} \times 25 = 922,5$ mm

4.6.7.1 Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

Penulangan arah x

$$\text{Berat poer } (q_u) = 2,9 \times 0,8 \times 2,4 = 5,568 \text{ t/m}$$

$$P_t = 2P_{\text{maks}} = 2 \times 141,043 \text{ t} = 282,086 \text{ t}$$

Reaksi Kolom :

$$\begin{aligned} R_K &= P_u \text{ Kolom} - P_u \text{ Maks} \\ &= 658,631 - 141,043 \\ &= 517,588 \text{ t} \end{aligned}$$

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_{\text{lap}} &= (P_t \times 1,9) - (1/2 \times q \times (2,5)^2) - (R_K \times 1,05) \\ &= (282,086 \times 1,9) - (1/2 \times 5,568 \times (2,5)^2) - (517,588 \times 1,05) \\ &= -24,903 \text{ tm} = -249026835,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{tump}} &= (P_t \times 0,85) - (1/2 \times q \times (1,45)^2) \\ &= (282,086 \times 0,85) - (1/2 \times 5,568 \times (1,45)^2) \\ &= 233,92 \text{ tm} = 2339201168 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{\text{max}} = 233,92 \text{ tm} = 2339201168 \text{ Nmm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,8 \times 3500 \times d x^2} = \frac{2339201168}{0,8 \times 5000 \times 747,5^2} = 1,05$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 1,05}{390}} \right) = 0,0035\end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$
maka dipakai $\rho = 0,0036$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d = 0,0036 \times 5000 \times 747,5 = 13416,67 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D25}} \\ &= \frac{13416,67}{490,87} = 27,33 \approx 28 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 5000/28 = 178,57 \text{ mm}$$

Maka untuk arah X digunakan tulangan D25-150mm

Penulangan arah y

$$\text{Berat poer } (q_u) = 5 \times 0,8 \times 2,4 = 9,6 \text{ t/m}$$

$$P_t = 3P_{\text{maks}} = 3 \times 141,043 \text{ t} = 423,13 \text{ t}$$

Penulangan lentur:

Momen – momen yang bekerja:

$$\begin{aligned}M_{\text{ux}} &= (P_t \times 0,85) - (1/2 \times q \times (0,85 + 0,6)^2) \\ &= (423,13 \times 0,85) - (1/2 \times 12 \times (0,85 + 0,6)^2) \\ &= 349,568 \text{ tm} = 3495682152 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,034\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$R_n = \frac{Mu}{0,8 \times 2900 \times d x^2} = \frac{3495682152}{0,8 \times 2900 \times 722,5^2} = 2,89$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 2,89}{390}} \right) = 0,0079 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$$

maka dipakai $\rho = 0,0079$

Tulangan lentur yang dibutuhkan:

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0079 \times 2900 \times 722,5 = 16501,2 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{As_{D25}} \\ &= \frac{16501,2}{490,87} = 33,62 \approx 34 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 2900/34 = 85,29 \text{ mm}$$

Maka untuk arah Y digunakan tulangan D25-75mm

4.6.7.2 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Perencanaan pile cap harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1 Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil dari:

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.c

Dimana:

β = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi = 1

b_o = keliling dari penampang kritis pada pile cap

$$b_o = 2 (b_k + d) + 2(h_k + d)$$

dimana:

b_k = lebar penampang kolom

h_k = tinggi penampang kolom

d = tebal efektif pile cap

$$\begin{aligned} b_o &= 2 (700 + 747,5) + 2 (700 + 722,5) \\ &= 5740 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_c = \frac{700}{700} = 1$$

$\alpha_s = 40$, untuk kolom interior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 5740 \times 747,5 = 7990291,7 \text{ N} = 799,03 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,083 \times \left(\frac{40 \times 747,5}{5740} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 5740 \times 747,5 = 10160641 \text{ N} \\ &= 1016,06 \text{ t} \end{aligned}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 5740 \times 747,5 = 7755283,1 \text{ N} = 775,53 \text{ t}$$

Diambil yang terkecil $V_c = 775, \text{ t}$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 775,53 \text{ t} = 581,646 \text{ t} \\ &= 581,646 \text{ ton} > P_{u \text{ kolom}} = 658,631 - 141,043 \\ &= 581,646 \text{ ton} > 517,588 \text{ ton} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran pile cap memenuhi syarat terhadap geser ponds.

4.6.7.3 Kontrol Geser Ponds Tiang Pancang

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari :

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0,33 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

SNI 03-2847-201X pasal 11.11.2.1.c

Dengan :

Dimensi poer : $2,9 \times 5 \times 0,8 \text{ m}^3$

Selimut beton : 40 mm

Ø tul utama : D25

Tinggi efektif : $d = 800 - 40 - \frac{1}{2} \times 25 = 747,5 \text{ mm}$

dimana :

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada pondasi tiang pancang

$$= \frac{700}{700} = 1$$

b_o = keliling dari penampang kritis pada poer

$$= [2\pi \times (d + D_{\text{tiang}})]$$

$$= [2\pi \times (747,5 + 600)]$$

$$= 8466,59 \text{ mm}$$

$\alpha_s = 30$, untuk kolom eksterior

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 8466,59 \times 747,5 = 17678713 \text{ N} = 1767,87 \text{ t}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{30 \times 747,5}{8466,59}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 8466,59 \times 747,5 = 7620480,7 \text{ N} = 762,05 \text{ t}$$

$$V_c = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 8466,59 \times 747,5 = 11439167 \text{ N} = 1143,92 \text{ t}$$

Diambil yang terkecil $V_c = 762,05 \text{ t}$

$$\phi V_c = 0,75 \times 762,05 \text{ t} = 571,536 \text{ t}$$

$$= 571,536 \text{ ton} > P_{u \text{ kolom}} = 658,631 - 141,043$$

$$= 571,536 \text{ ton} > 517,588 \text{ ton} \dots\dots \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran poer mampu menahan gaya geser akibat beban reaksi aksial tiang tepi.

4.6.7.4 Kontrol Balok Tinggi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.7 Balok tinggi adalah komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya dan ditumpu pada muka yang berlawanan sehingga strat tekan dapat membentuk di antara beban dan tumpuan, dan mempunyai salah satu antara:

- (c) bentang bersih ℓ_n , sama dengan atau kurang dari empat kali tinggi komponen struktur keseluruhan h ; atau
- (d) daerah dengan beban terpusat dalam jarak $2h$ dari muka tumpuan.

Balok tinggi harus didesain dengan memperhitungkan salah satu antara distribusi regangan nonlinier, atau dengan Lampiran A. (Lihat juga 11.7.1 dan 12.10.6).

$\ell_n \text{ poer} = 2900 \text{ mm} < 4h = 4 \times 800 = 3200 \text{ mm}$, sehingga poer termasuk balok tinggi.

Balok tinggi harus dikontrol sesuai ketentuan yang ada dalam SNI :

$$V_u = 399090 \text{ N (hasil SAP2000)}$$

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.7.3})$$

$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal 11.7.4.1})$$

Dimana $S < d/5$ atau $S < 300 \text{ mm}$

$$d/5 = 1000/5 = 200 \text{ mm}$$

sehingga digunakan $S = 200 \text{ mm}$

Arah X

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$399090 \text{ N} \leq 0,75 \times 0,83 \times \sqrt{30} \times 2900 \times 747,5$$

$$399090 \text{ N} \leq 7391101,698 \text{ N} \dots \text{OK}$$

Digunakan tulangan geser D25-200mm ($A_v = 8590,29 \text{ mm}^2$)

$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 0,0025 \times 2900 \times 200$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 1450 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

Arah Y

$$V_u \leq \phi \times 0,83 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$399090 \text{ N} \leq 0,75 \times 0,83 \times \sqrt{30} \times 2900 \times 922,5$$

$$399090 \text{ N} \leq 7143907,662 \text{ N} \dots \text{OK}$$

Digunakan tulangan geser D25-200mm ($A_v = 8590,29 \text{ mm}^2$)

$$A_v > 0,0025 \times b_w \times S$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 0,0025 \times 2900 \times 200$$

$$8590,29 \text{ mm}^2 > 1450 \text{ mm}^2 \dots \text{OK}$$

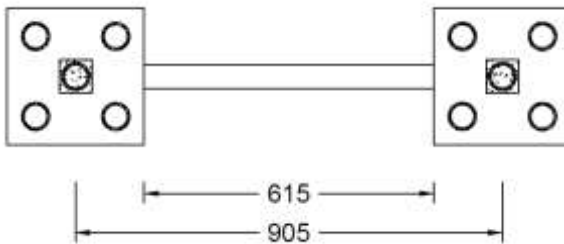
4.6.8 Perencanaan Balok Sloof Interior

Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi atau dalam kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Adapun beban-beban yang ditimpakan ke sloof meliputi: berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

4.6.8.1 Data Perencanaan

Data-data perancangan perhitungan sloof adalah sebagai berikut:

P kolom	= 658,631 ton
Panjang Sloof L	= 6,15 m
Mutu Beton f_c'	= 30 MPa
Mutu Baja f_y	= 390 MPa
Decking	= 40 mm
Diameter Tulangan Utama	= 25 mm
Diameter Senggang	= 13 mm
Dimensi Sloof	= 500 mm x 700 mm
Tinggi Efektif	= $700 - 40 - 13 - (1/2 \times 25)$
	= 634,5 mm



Gambar 4. 46 Sloof yang ditinjau

4.6.8.2 Dimensi Sloof Interior

Pada perancangan *sloof* ini, penulis mengambil ukuran *sloof* berdasarkan *sloof* yang berhubungan dengan kolom yang mempunyai gaya aksial terbesar yaitu $P_u = 658,631$ ton. Penentuan dimensi dari sloof dilakukan dengan memperhitungkan syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan ijin beton (modulus keruntuhan) yaitu sebesar:

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c}$$

Maka perhitungannya:

Tegangan tarik ijin:

$$f_{r \text{ ijin}} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,834 \text{ Mpa}$$

Tegangan tarik yang terjadi

$$\begin{aligned} P_u &= 10\% \times P_u \text{ kolom} \\ &= 10\% \times 658,631 \text{ ton} \\ &= 65,8631 \text{ ton} = 658631 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_r = \frac{P_u}{0,8 \times b \times h} = \frac{658631}{0,8 \times 500 \times 700} = 2,35 \text{ Mpa} < f_{r \text{ ijin}} \dots \text{OK}$$

4.6.8.3 Penulangan Sloof

a. Penulangan Lentur Sloof

Penulangan sloof didasarkan atas kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti penulangannya pada kolom. Adapun beban sloof adalah:

$$\begin{aligned} \text{Berat aksial } N_u &= 10\% \times 658,631 \text{ ton} \\ &= 65,8631 \text{ ton} = 658,631 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berat yang diterima sloof:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,5 \times 0,7 \times 2,4 = 0,84 \text{ t/m} \\ \text{Berat dinding} &= 3,325 \times 0,1 = 0,3325 \text{ t/m} + \\ &= 1,1725 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \times 1,1725 = 1,407 \text{ t/m} \\ &= 14,07 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi (tumpuan menerus)

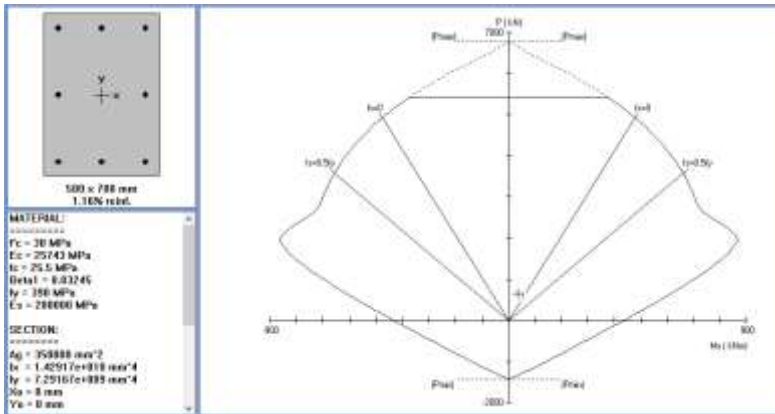
$$\begin{aligned} M_u &= 1/12 \times q_u \times L^2 \\ &= 1/12 \times 14,07 \times 5,55^2 \\ &= 44,347 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lalu menggunakan program PCACol dengan memasukkan beban:

$$P = 658,631 \text{ kN}$$

$$M = 44,347 \text{ kNm}$$

Sehingga didapatkan diagram interaksi seperti pada **Gambar 4.46** di bawah ini :



Gambar 4. 47 Diagram Interaksi Balok Sloof 50/70

Dari diagram interaksi untuk:

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 390 \text{ MPa} \text{ didapat } \rho = 1,16\%$$

$$\text{Dipasang Tulangan 8 D25 (As = 4077,41 mm}^2\text{)}$$

b. Penulangan Geser Sloof

Dari diagram interaksi didapat momen balance M_{pr} sebesar = 682,44 kNm

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{pr} + M_{pr}}{hn} \\ &= \frac{682,44 + 682,44}{6,15} = 221,93 \text{ kN} = 221933,153 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times w \times d \times \left[1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right] \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 500 \times 634,5 \left[1 + \frac{658631}{14 \times 500 \times 700} \right] \\ &= 328535,841 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 328535,841 \text{ N} = 246401,881 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 246401,881 \text{ N} = 123200,94 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$123200,94 \text{ N} < 248161,62 \text{ N} < 246401,881 \text{ N}$$

Maka, ϕV_s perlu = ϕV_s min

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 500 \times 634,5 \\ &= 105750 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser sengkang

$$\phi V_s = 0,75 \times 105750 = 79312,5 \text{ N}$$

Jarak minimum

Jika dipakai begel 2 kaki dengan D13 mm ($A_v = 265,46 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 390 \times 634,5}{79312,5} = 828,25 \text{ mm}$$

Kontrol jarak sengkang

$$S \leq \frac{1}{2} \times d$$

$$S \leq \frac{1}{2} \times 634,5 \text{ mm} = 317,25 \text{ mm}$$

Maka Dipasang tulangan sengkang D13 – 300mm

4.7 Metode Pelaksanaan

4.7.1 Umum

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan item penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item-item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material-material beton pracetak. Proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah ;

- Proses pencetakan secara pabrikasi di Industri pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah:
 - a. Perlunya standart khusus sehingga hasil parcetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
 - b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
 - c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

4.7.2 Pengangkatan dan Penempatan Crane

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain:

1. kemampuan maksimum crane yang digunakan
2. metode pengangkatan
3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

Hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan titik angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- Jenis crane POTAIN MC 310
- Jarak jangkauan maksimum 70 m dengan beban maksimum 9,6 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah

4.7.2.1 Kontrol Kapasitas Crane

Elemen struktur pracetak

1. Balok induk 50/70 (terpanjang 9,05 m)

$$W = 0,50 \times (0,70 - 0,15) \times 9,05 \times 2,4 = 5,973 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok induk pracetak dengan beban 5,973 ton dengan beban maksimum 6,7 ton dengan jarak jangkauan maksimum 40 m.

2. Balok anak 30/50 (terpanjang 9,05 m)

$$W = 0,30 \times (0,5 - 0,15) \times 9,05 \times 2,4 = 2,2806 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok anak pracetak dengan beban 2,2806 ton dengan beban maksimum 3,2 ton dengan jarak jangkau maksimum 70 m.

3. Pelat

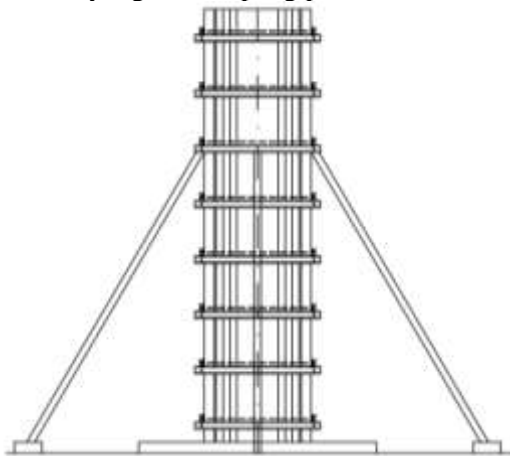
Ukuran Pelat $3,2 \times 9,05 \text{ m}$ ($t = 9 \text{ cm}$)

$$W = 3,2 \times 9,05 \times 0,09 \times 2,4 = 6,25536 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat pelat pracetak dengan beban 6,25536 ton dengan beban maksimum 6,7 ton dengan jarak jangkau maksimum 40 m.

4.7.3 Pekerjaan Elemen Kolom

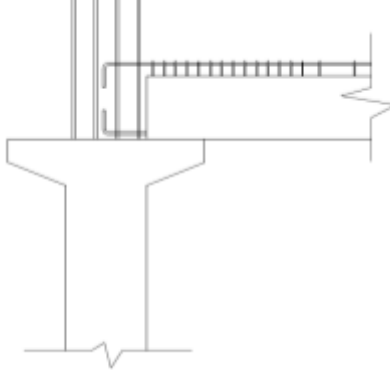
Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



Gambar 4. 48 Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

4.7.4 Pemasangan Elemen Balok Induk

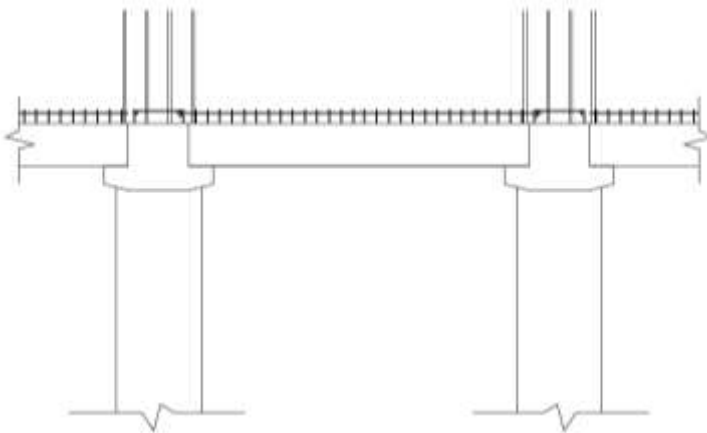
Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu di atas konsol kolom kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Lalu setelah itu baru dilakukan pengecoran.



Gambar 4. 49 Pemasangan Balok Induk Pracetak

4.7.5 Pemasangan Elemen Balok Anak

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak yang terdapat pada balok induk.

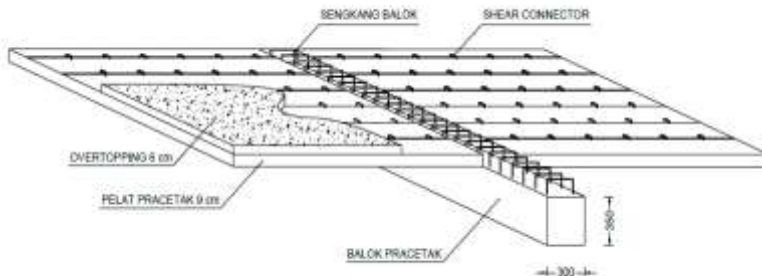


Gambar 4. 50 Pemasangan Balok Anak Pracetak

Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan pelat dan kemudian dilakukan pengecoran *overtopping*.

4.7.6 Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Kemudian dilakukan pemasangan tulangan bagian atas yaitu tulangan tumpuan untuk pelat.



Gambar 4. 51 Pemasangan Tulangan Atas

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 6 cm.

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

4.7.7 Transportasi Elemen Beton Pracetak

Sistem transportasi disini meliputi:

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek
3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 16 m atau 2,4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk temel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Di area lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane dan area penyimpanan (*storage*) untuk menyimpan elemen pracetak sebelum dilaksanakan pemasangan (*erection*)

LAMPIRAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

DETAIL PEMBALOKAN
SETELAH MODIFIKASI

KETERANGAN

SKALA

1:300

NO. GAMBAR

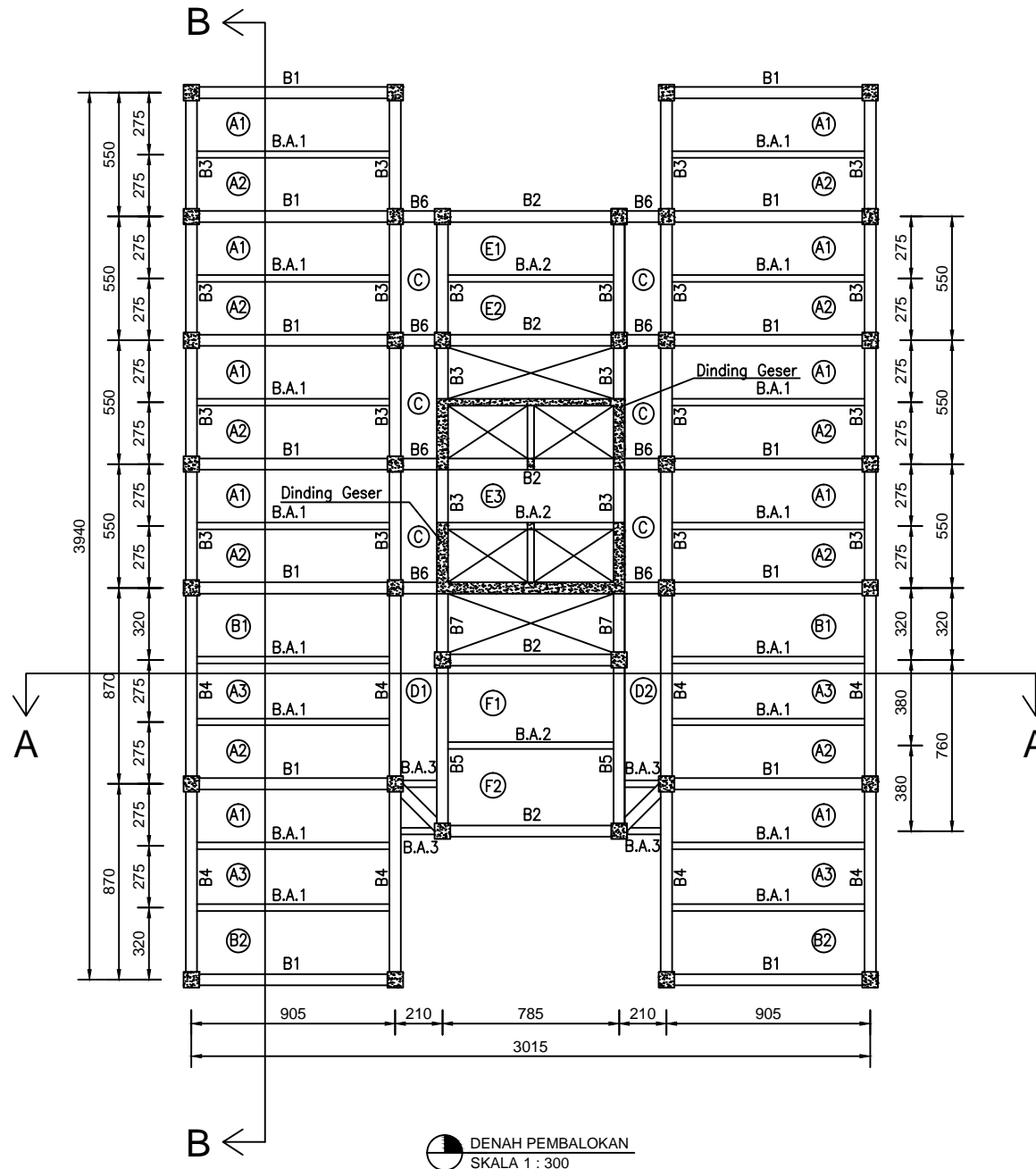
1

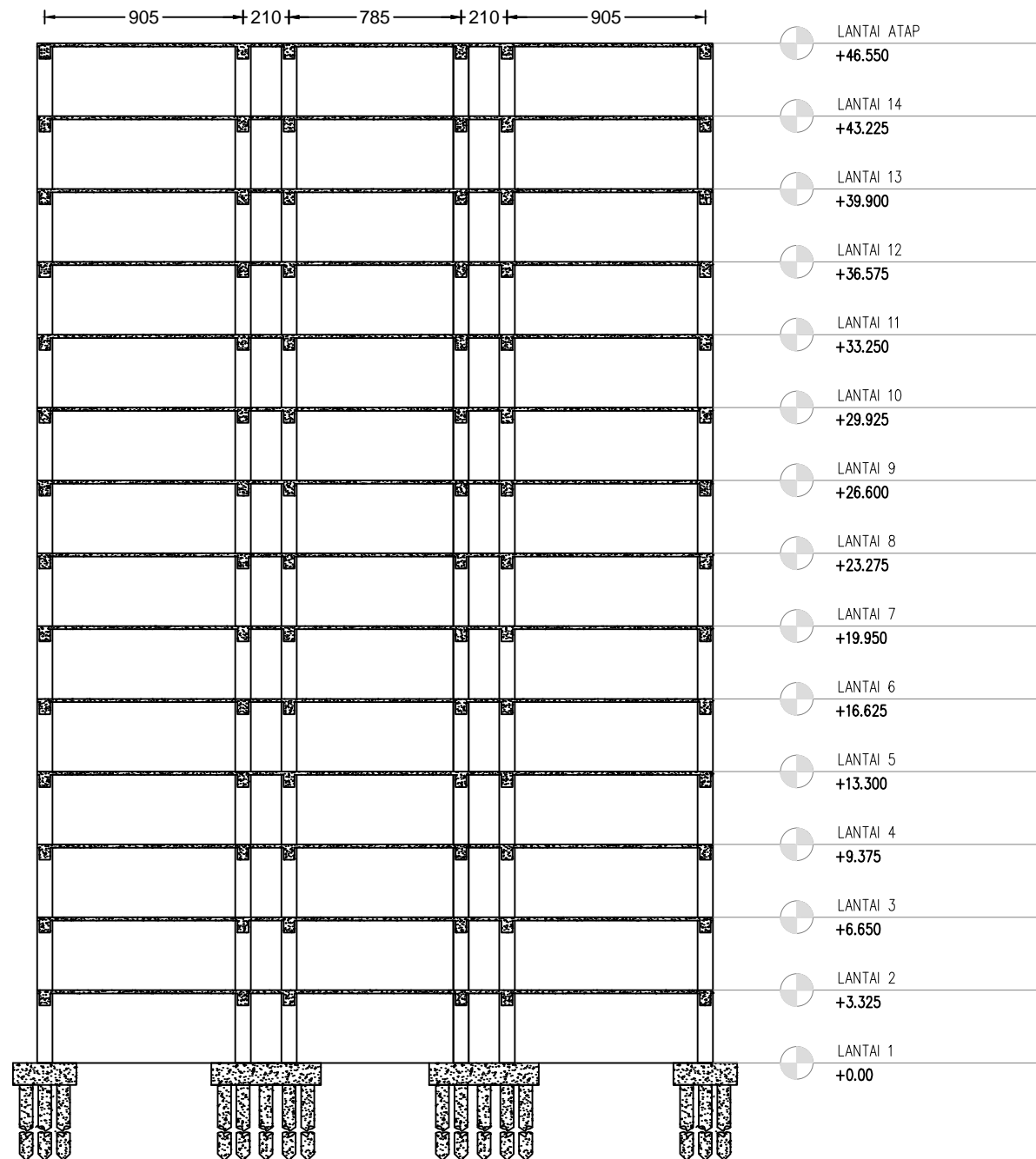
KERTAS

A4

JML GAMBAR

30





POTONGAN MELINTANG A-A
SKALA 1 : 300



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

POTONGAN MELINTANG
A-A
SETELAH MODIFIKASI

KETERANGAN

SKALA

1:300

NO. GAMBAR

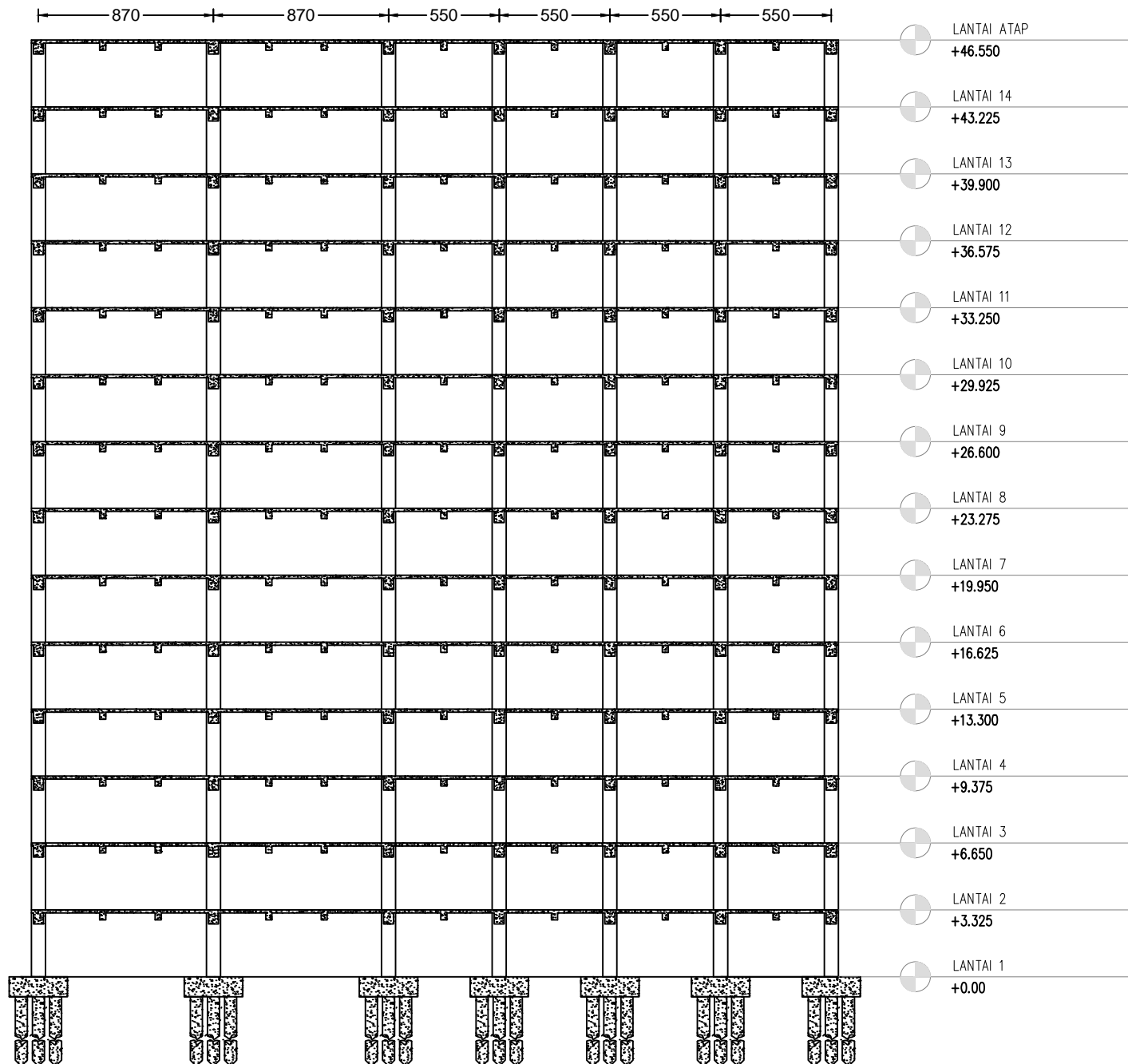
2


KERTAS

A4

JML GAMBAR

30



 POTONGAN MEMANJANG B-B
SKALA 1 : 300



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG
B-B
SETELAH MODIFIKASI

KETERANGAN

SKALA

1:300

NO. GAMBAR

3

KERTAS

A4

JML GAMBAR

30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

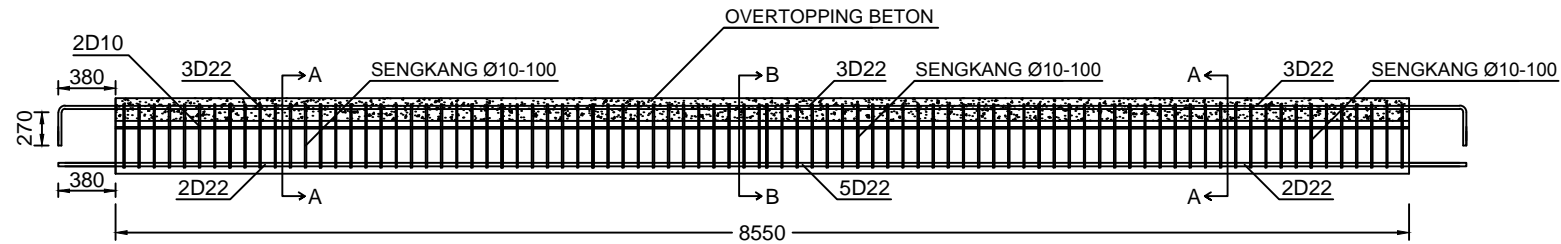
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

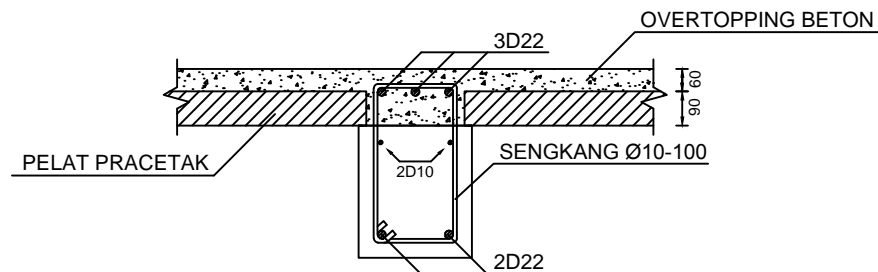
DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK BA1

KETERANGAN

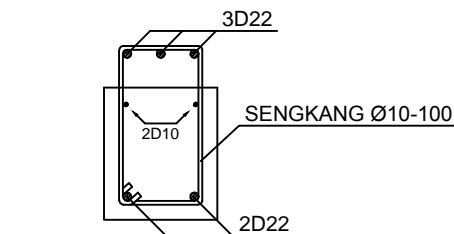
SKALA	KERTAS
1:50	A4
1:20	
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
4	30



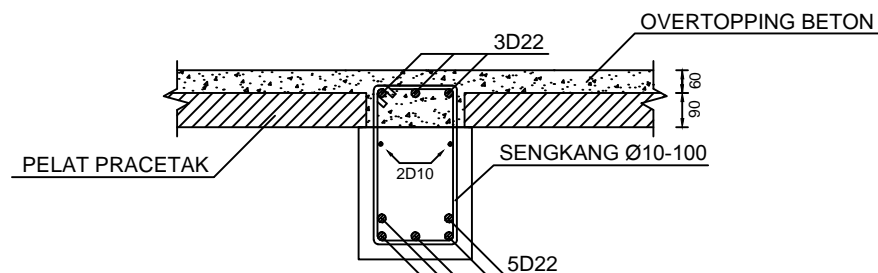
DETAIL BA1 SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



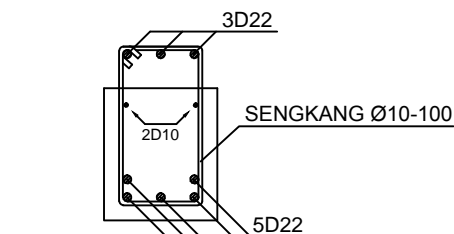
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

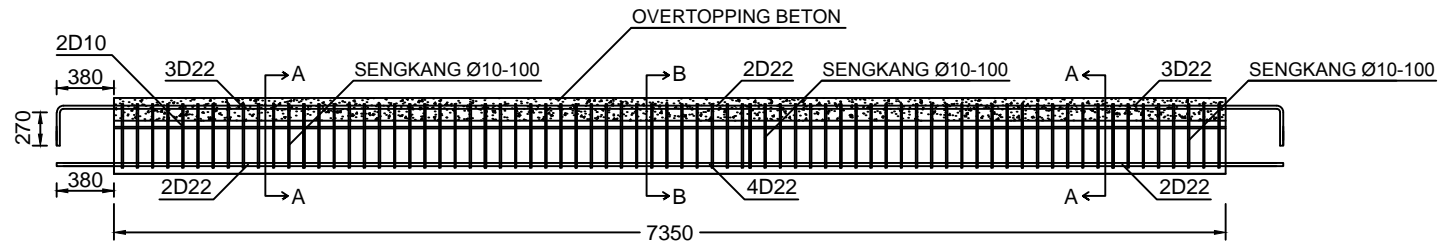
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

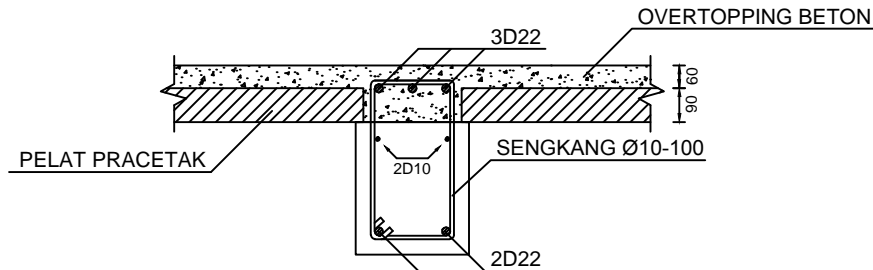
DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK BA2

KETERANGAN

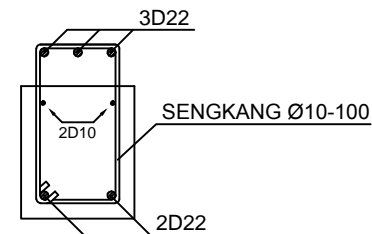
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
5	30



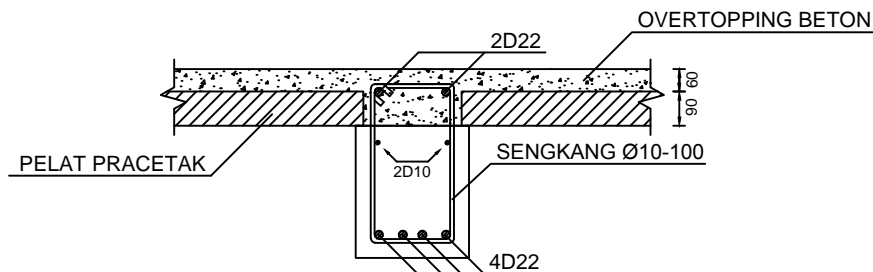
DETAIL BA2 SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



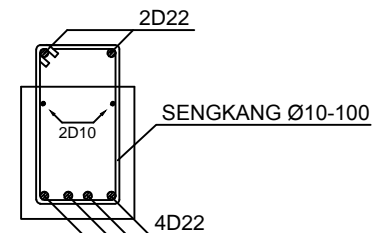
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

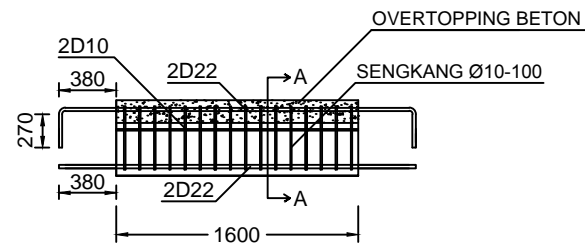
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

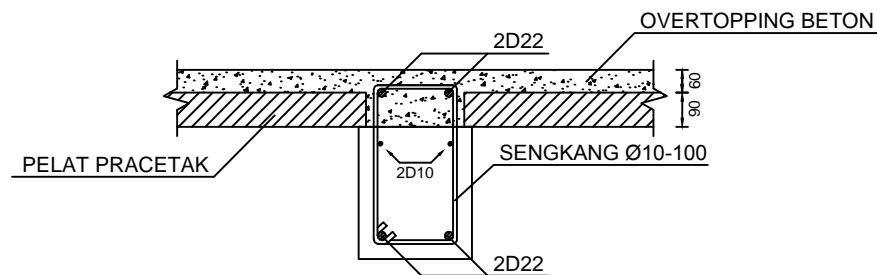
DETAIL PENULANGAN
BALOK ANAK BA3

KETERANGAN

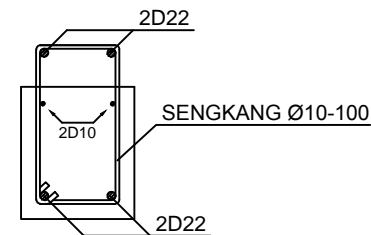
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
6	30



DETAIL BA3 SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

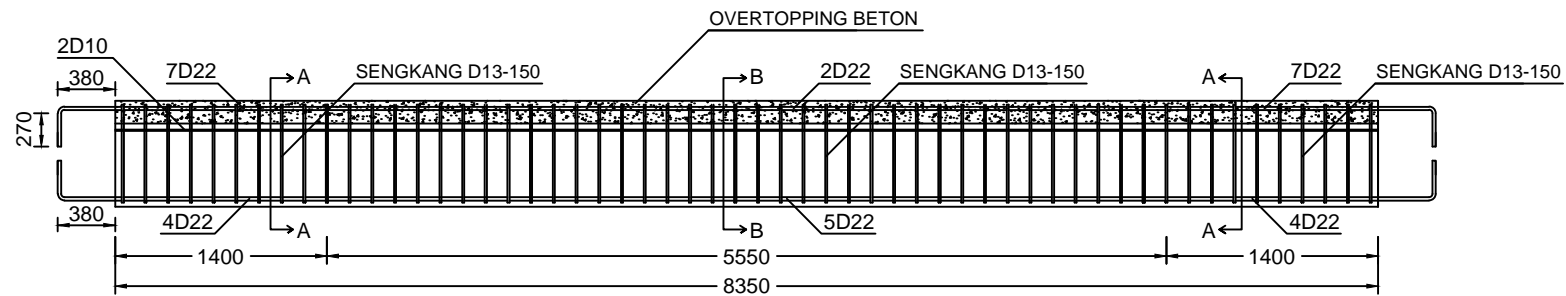
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

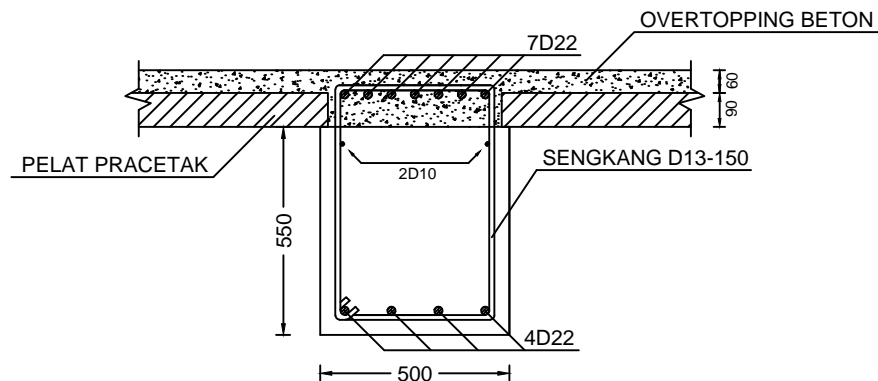
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B1
INTERIOR

KETERANGAN

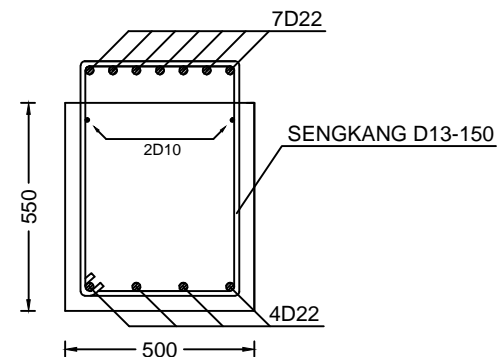
SKALA	KERTAS
1:50	A4
1:20	
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
7	30



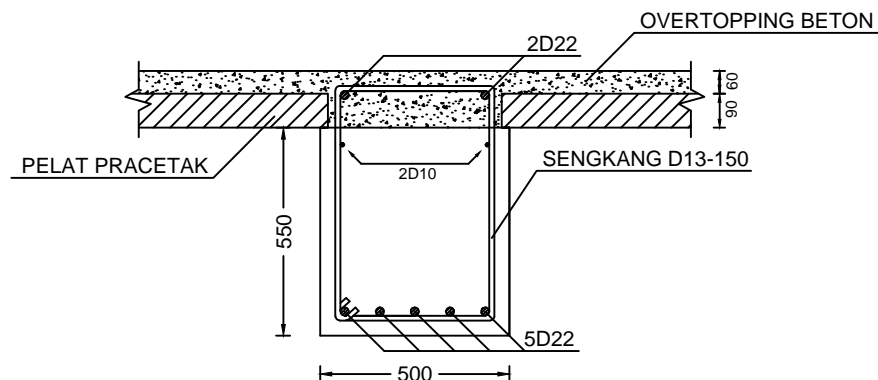
DETAIL B1 INTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



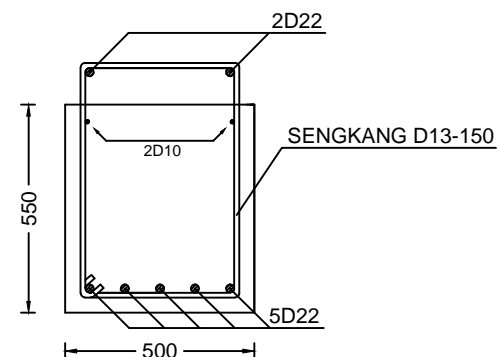
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

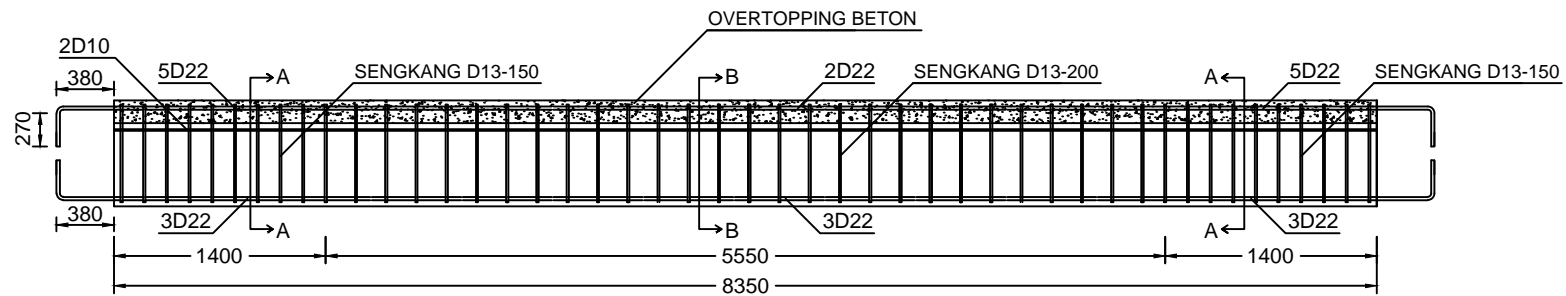
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

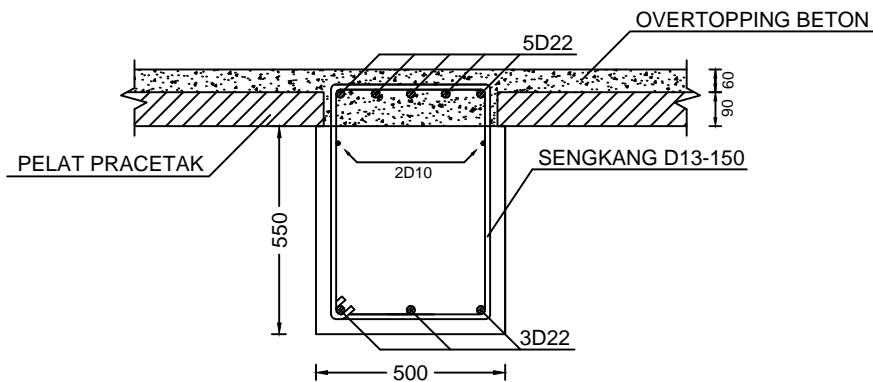
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B1
EXTERIOR

KETERANGAN

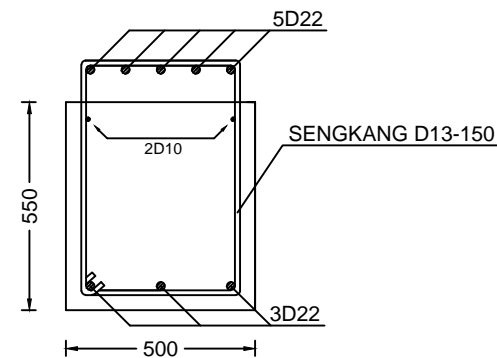
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
8	30



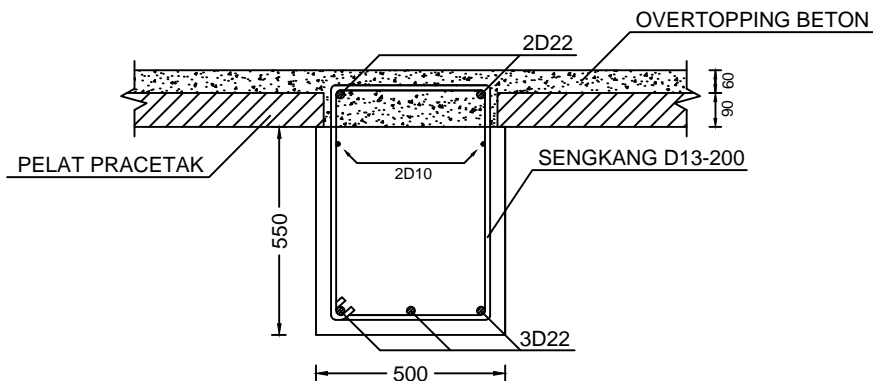
DETAIL B1 EXTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



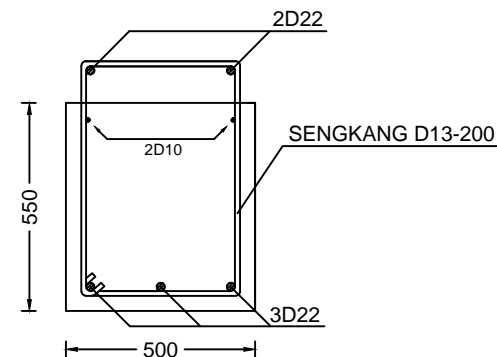
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

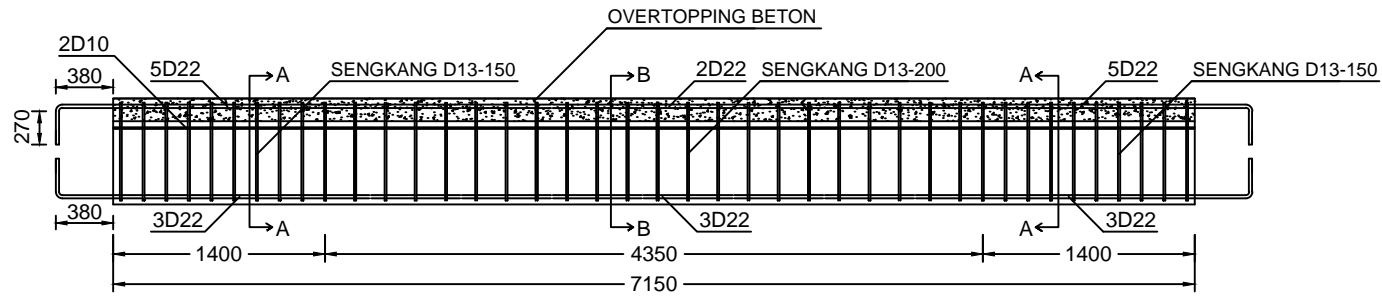
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

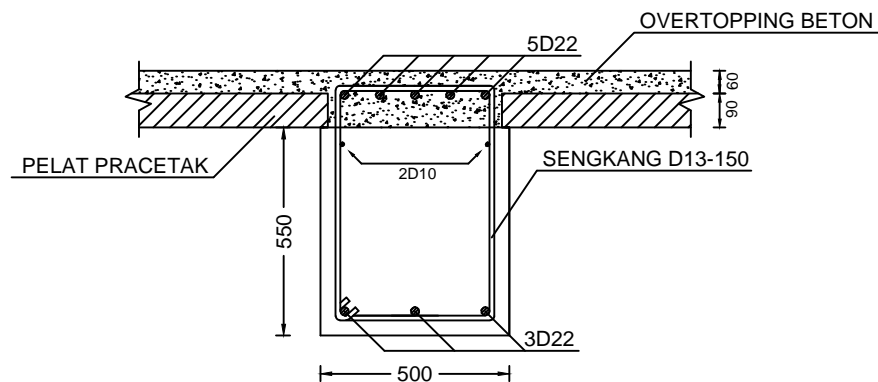
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B2
INTERIOR

KETERANGAN

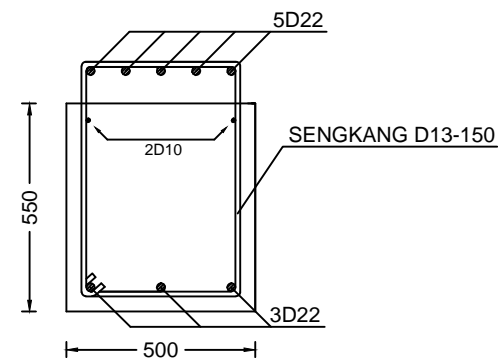
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
9	30



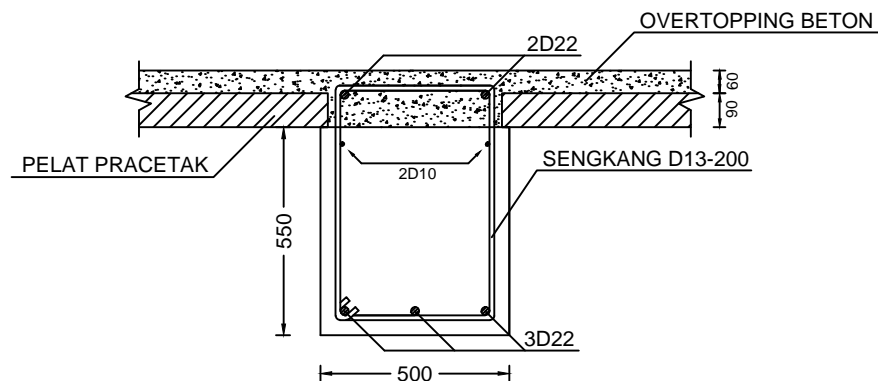
DETAIL B2 INTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



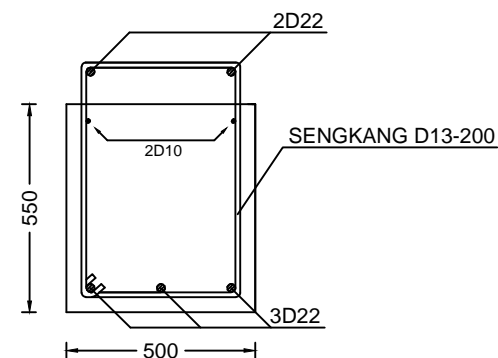
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

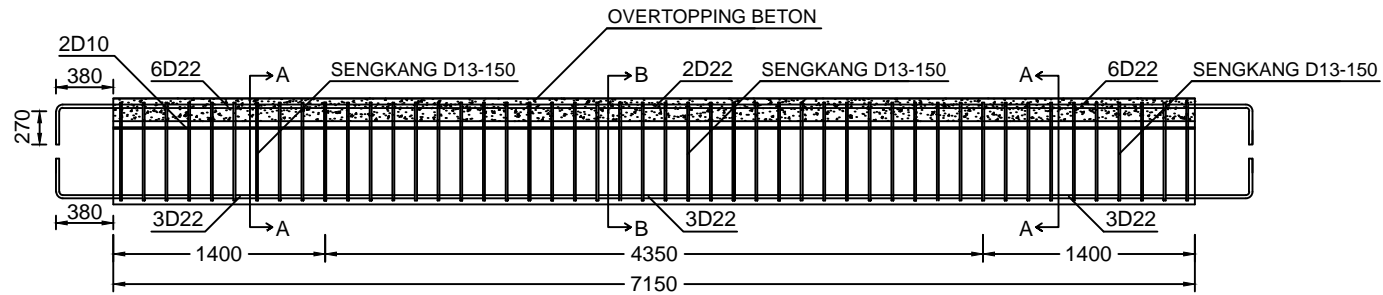
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

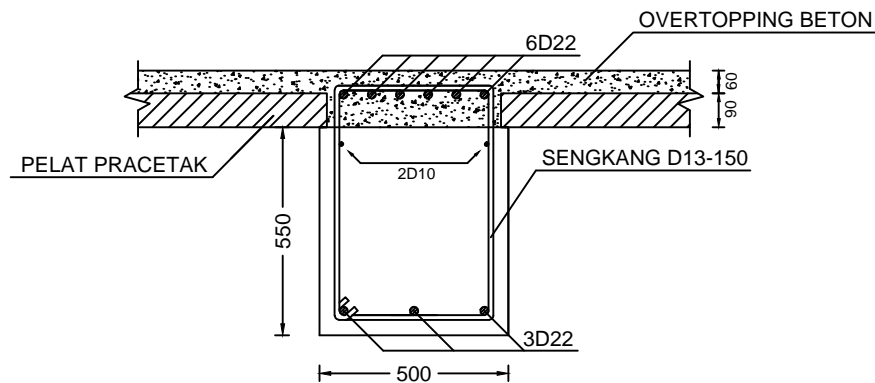
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B2
EXTERIOR

KETERANGAN

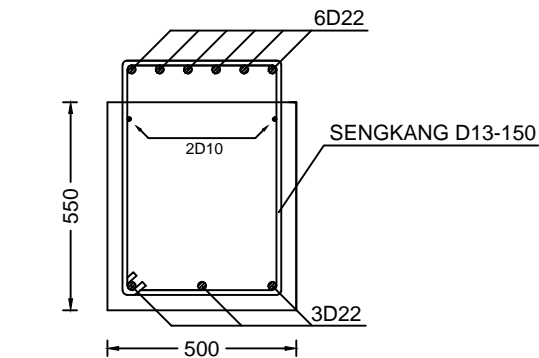
SKALA	KERTAS
1:50	A4
1:20	
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
10	30



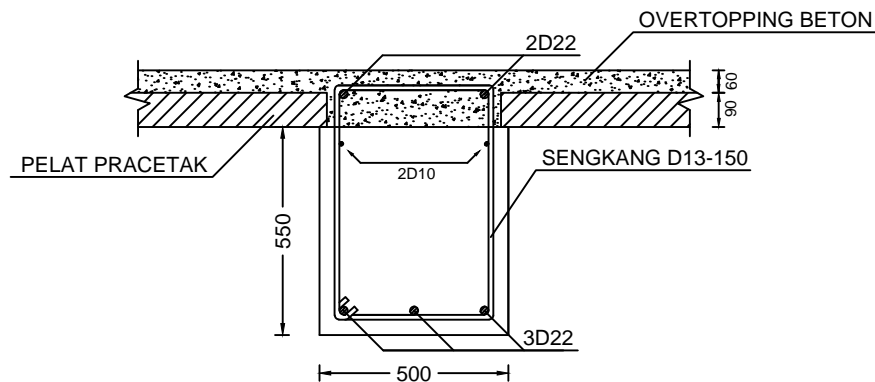
DETAIL B2 EXTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



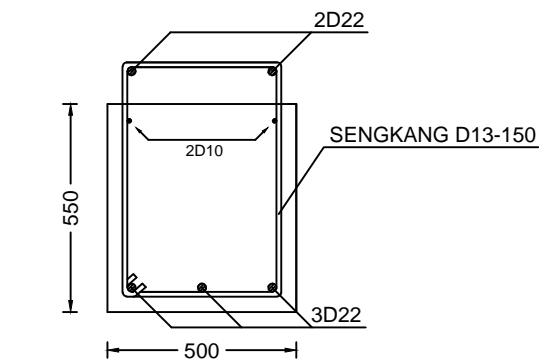
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

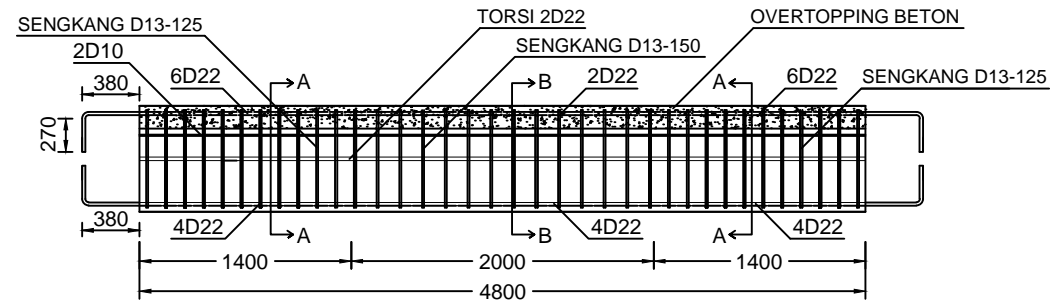
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

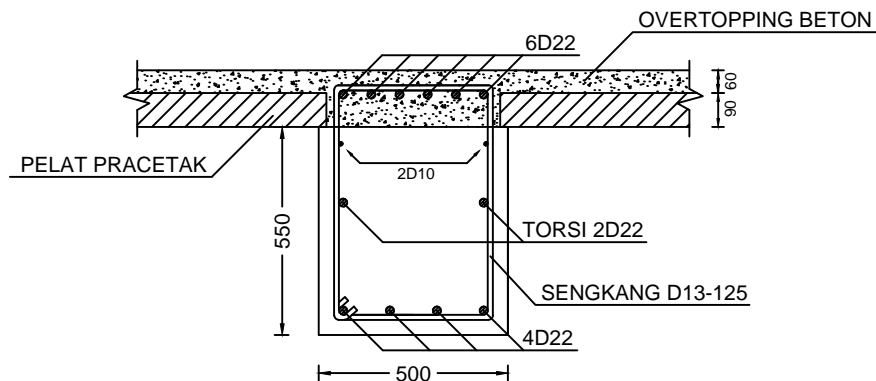
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B3
INTERIOR

KETERANGAN

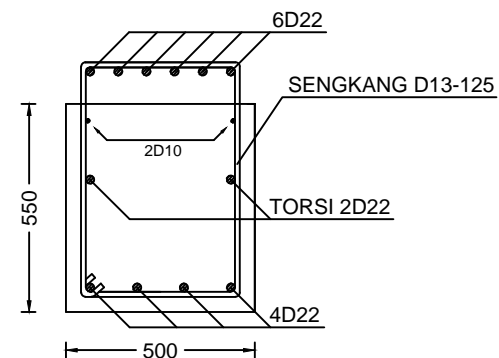
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
11	30



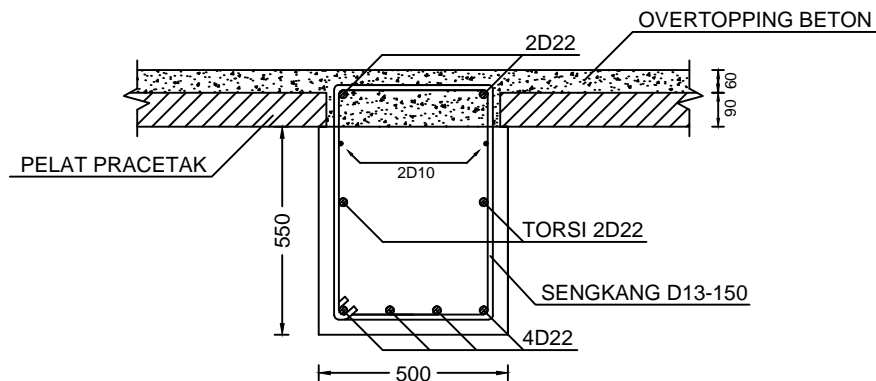
DETAIL B3 INTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



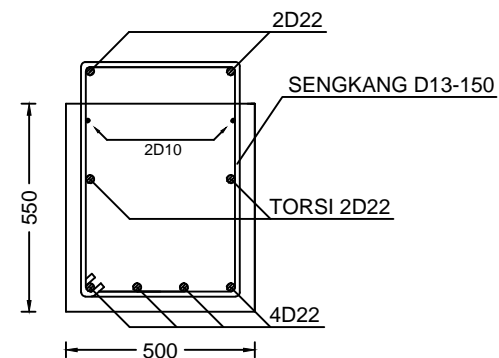
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

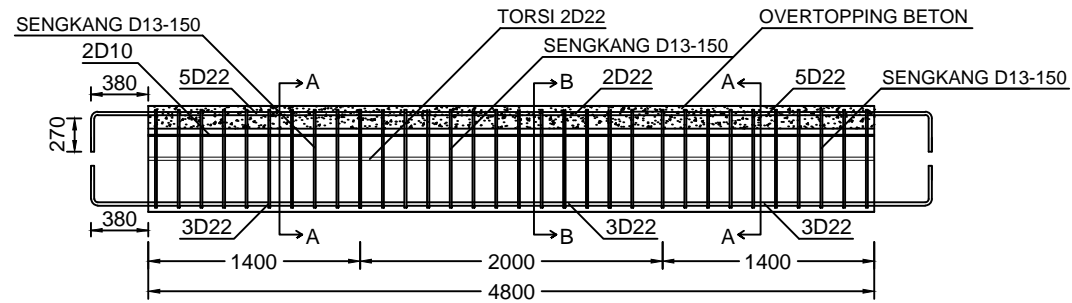
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

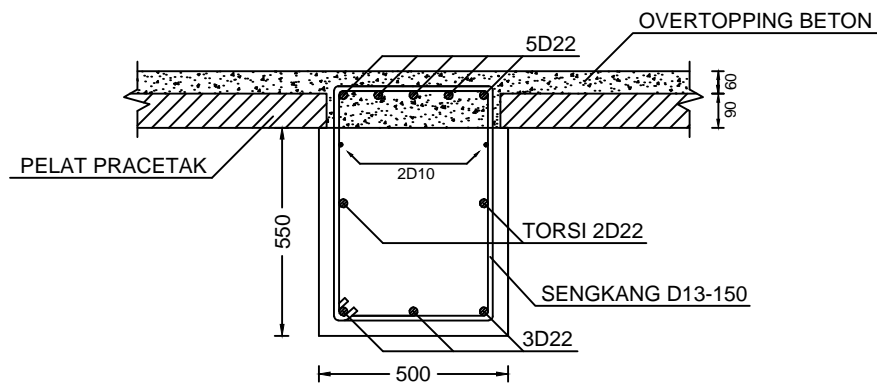
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B3
EXTERIOR

KETERANGAN

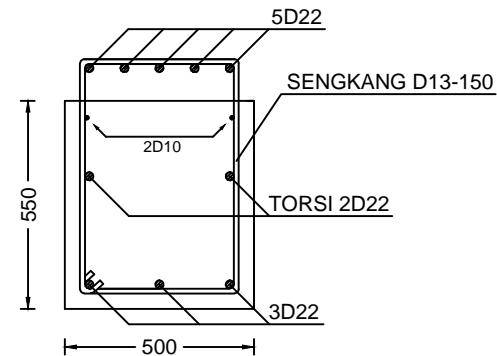
SKALA	KERTAS
1:50	A4
1:20	
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
12	30



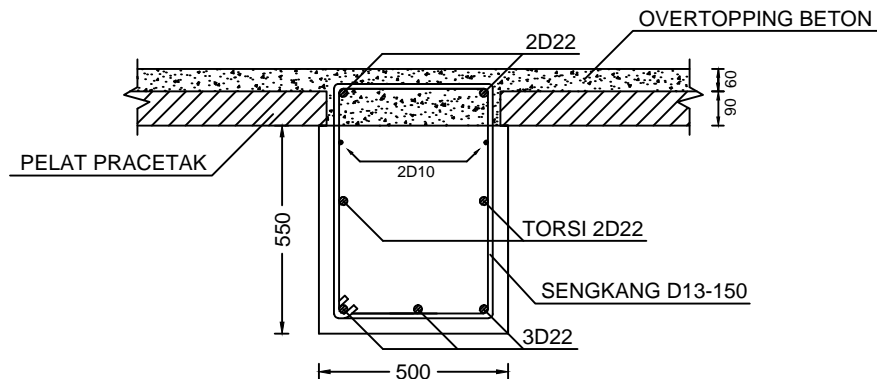
DETAIL B3 EXTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



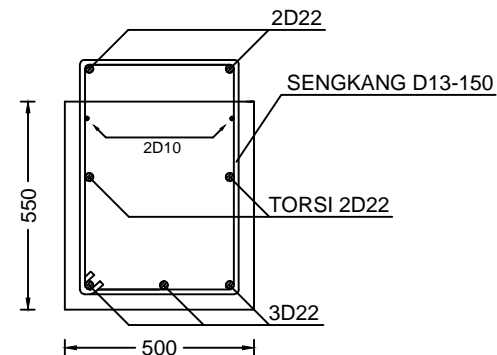
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

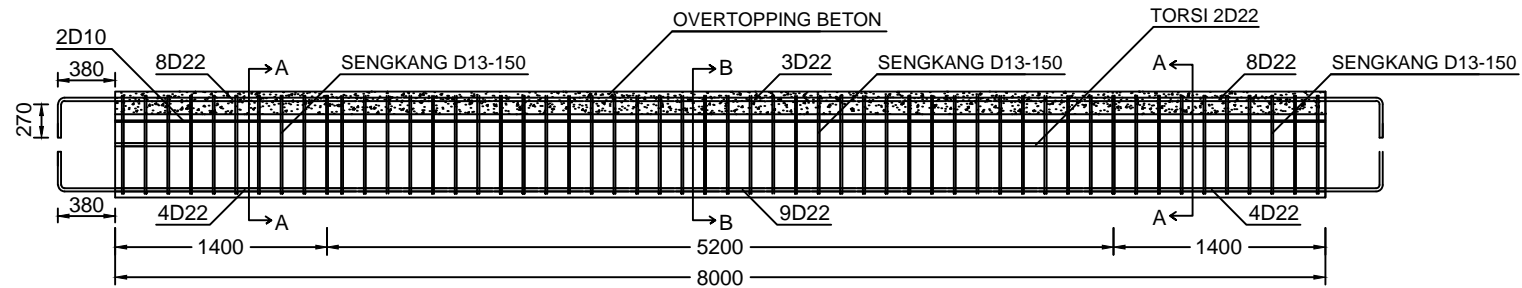
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

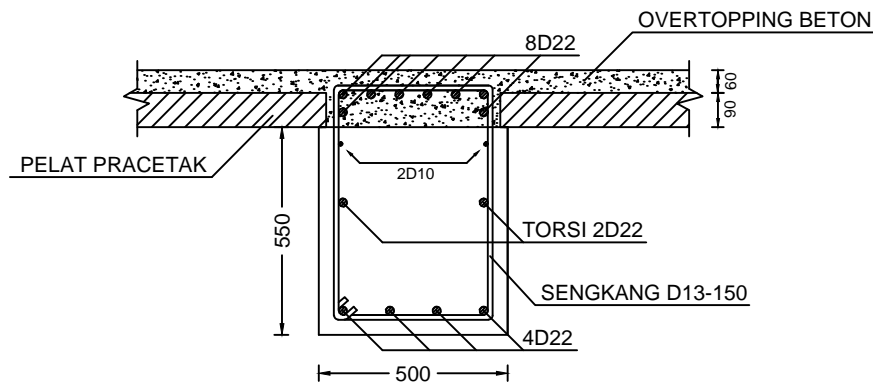
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B4
INTERIOR

KETERANGAN

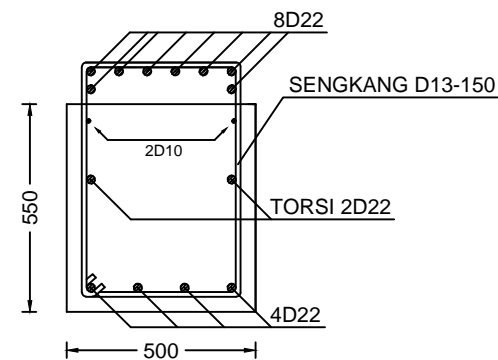
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
13	30



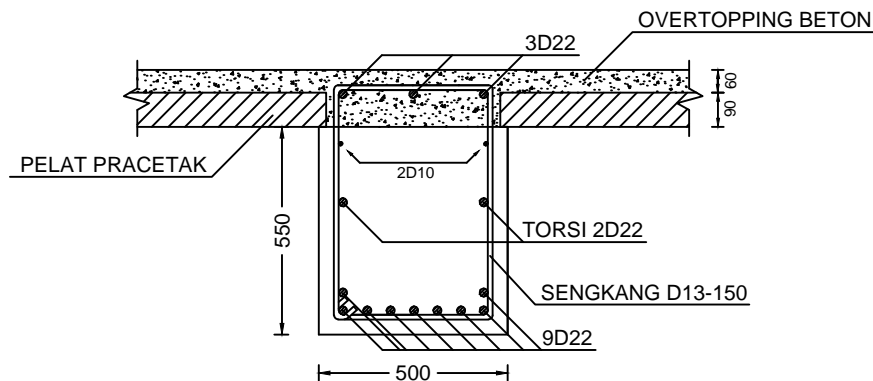
DETAIL B4 INTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



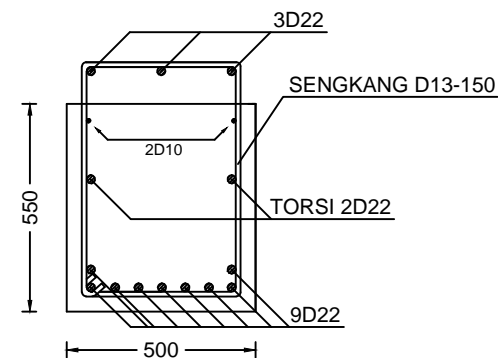
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

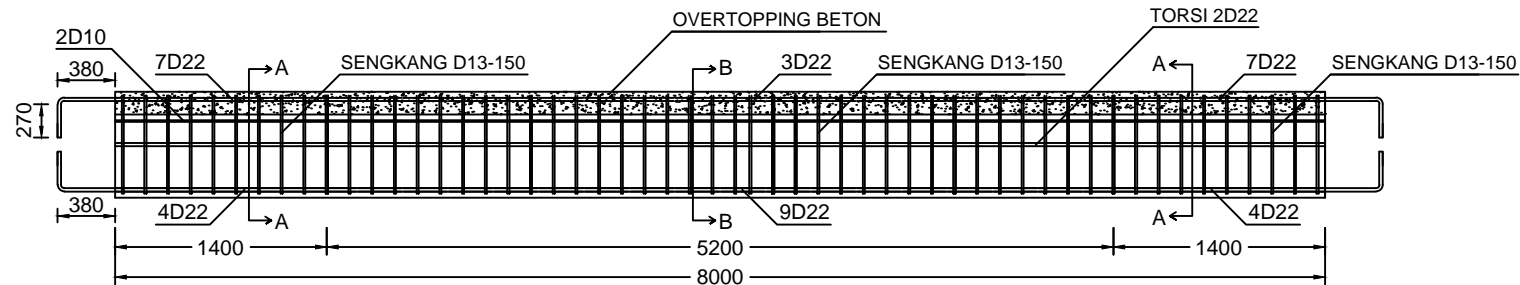
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

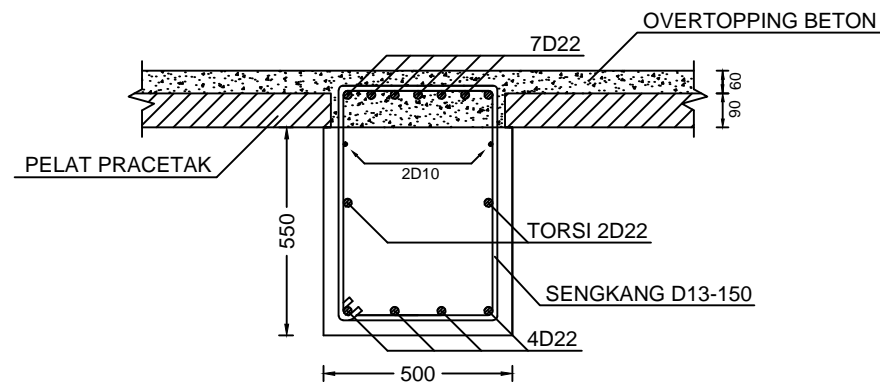
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B4
EXTERIOR

KETERANGAN

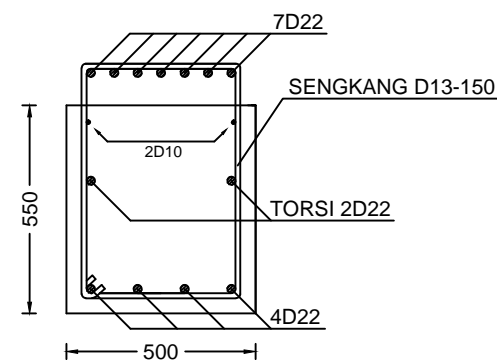
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
14	30



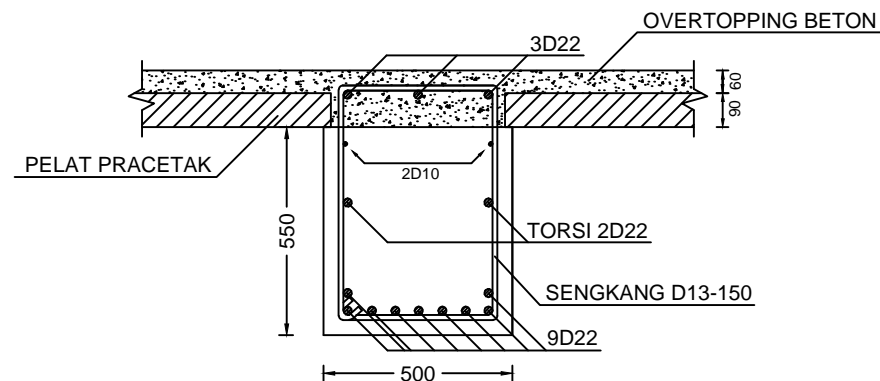
DETAIL B4 EXTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



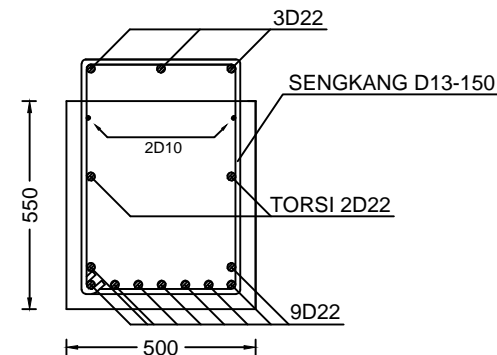
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

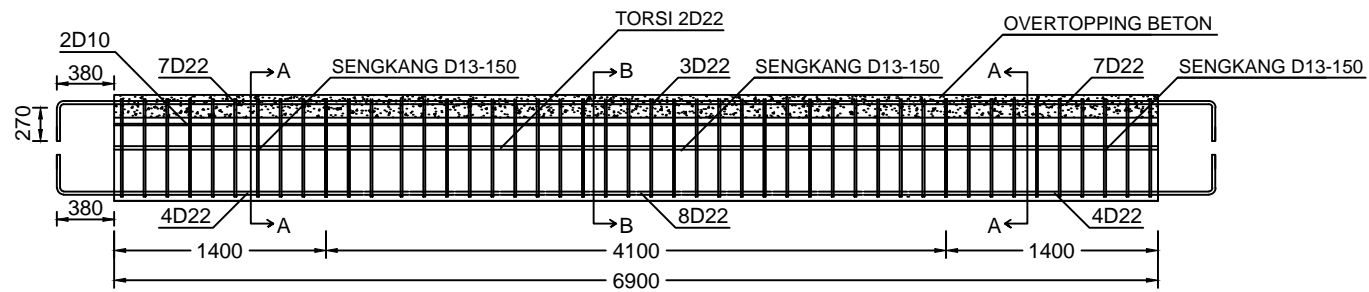
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

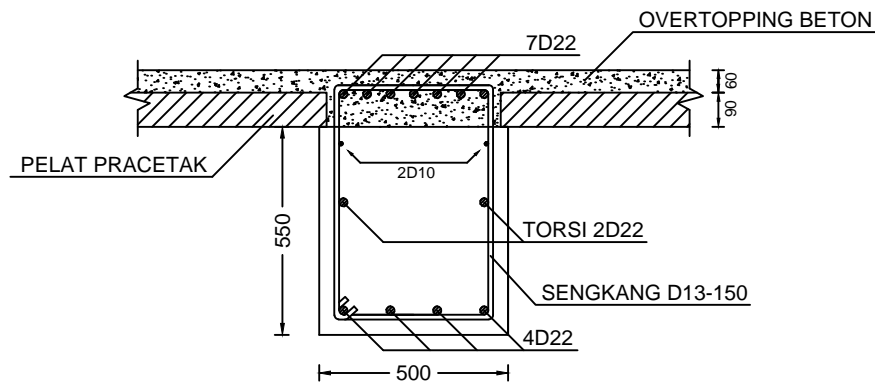
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B5

KETERANGAN

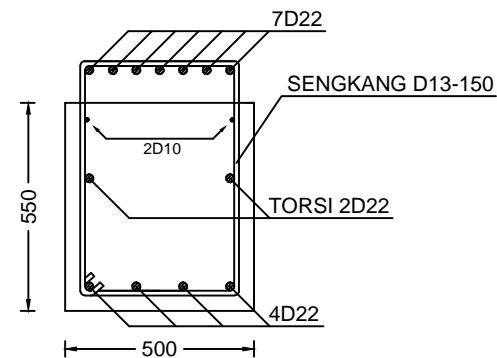
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
15	30



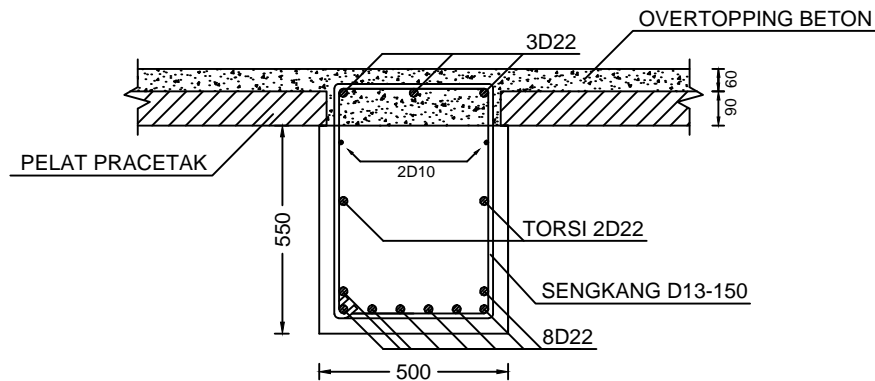
DETAIL B5 SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



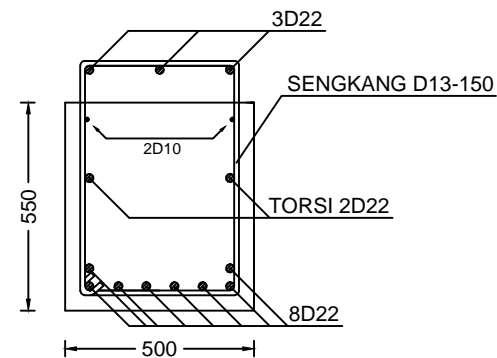
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

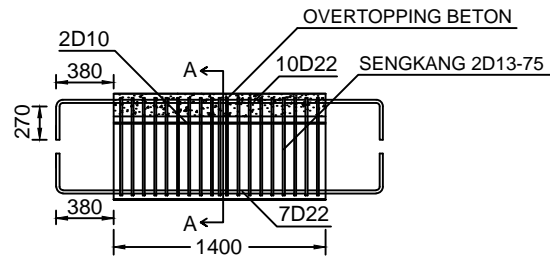
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

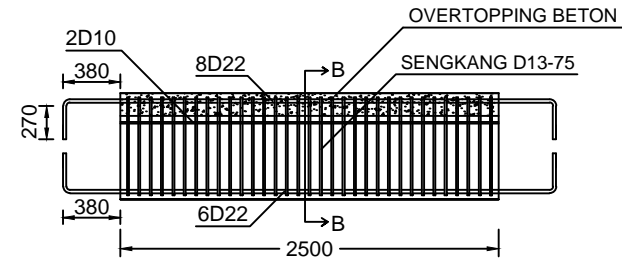
DETAIL PENULANGAN
BALOK INDUK B6 & B7

KETERANGAN

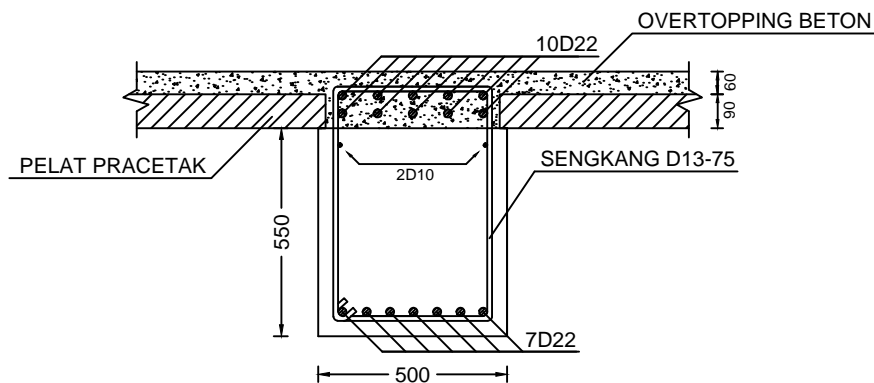
SKALA	KERTAS
1:50 1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
16	30



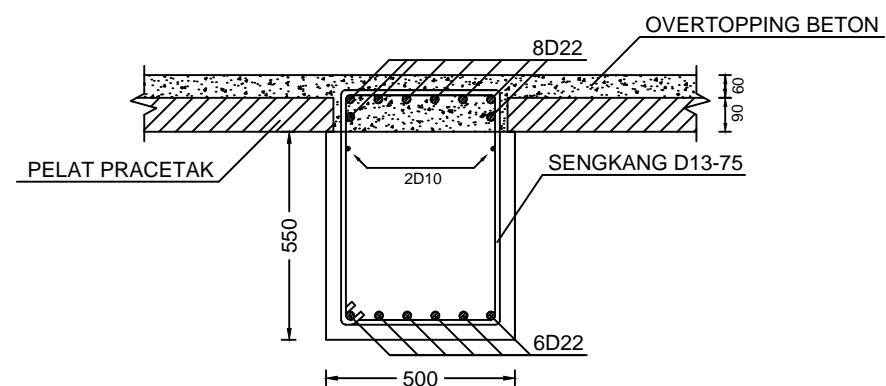
DETAIL B6 SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



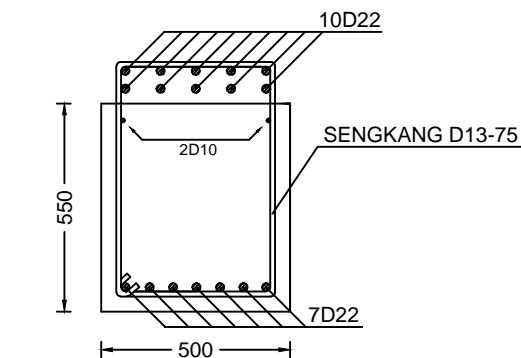
DETAIL B7 SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 50



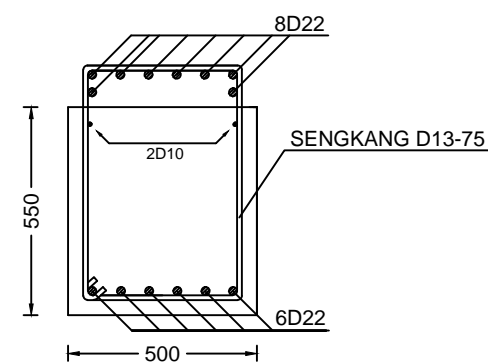
POTONGAN A-A SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN A-A SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



POTONGAN B-B SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

DENAH PELAT LANTAI

KETERANGAN

SKALA

1:300

NO. GAMBAR

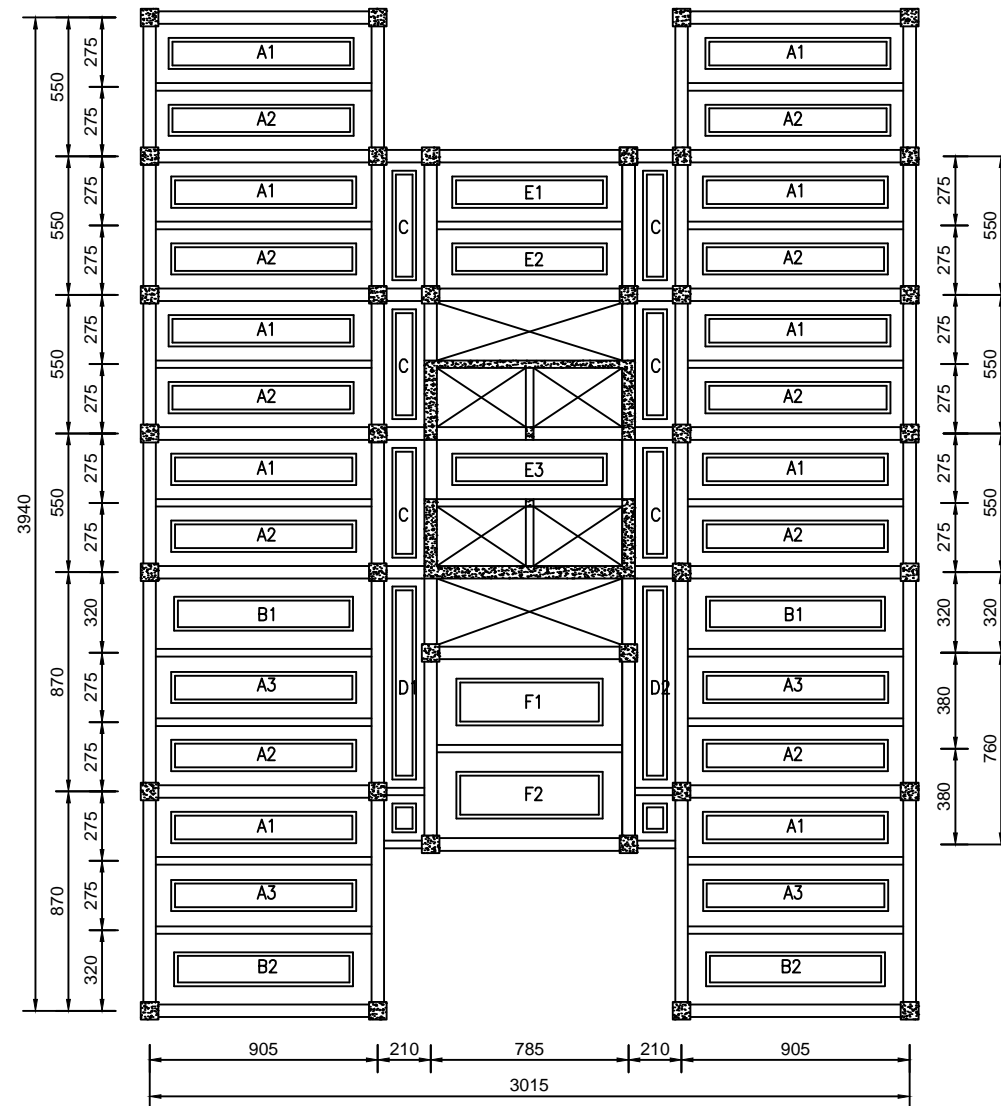
17

KERTAS

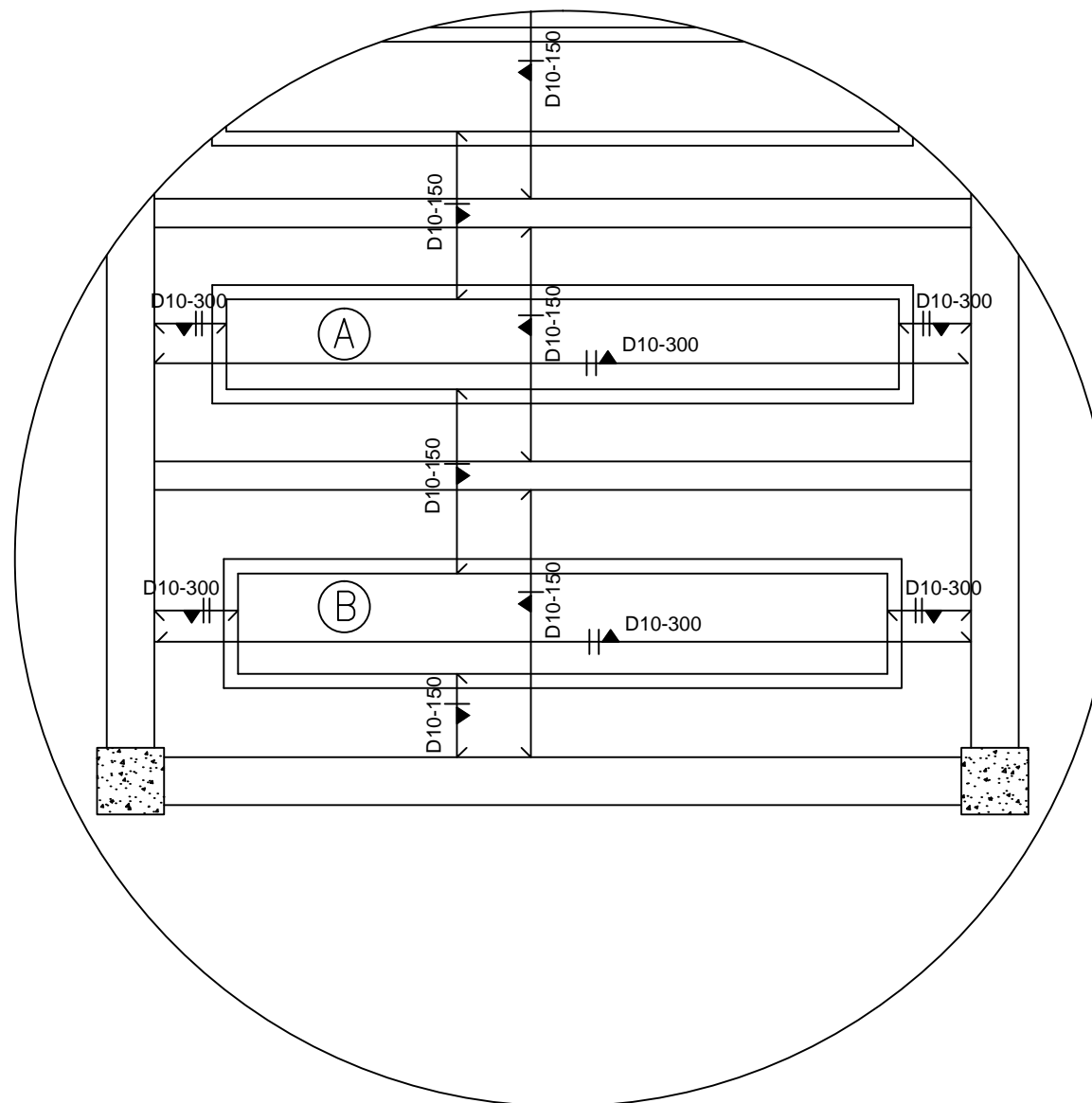
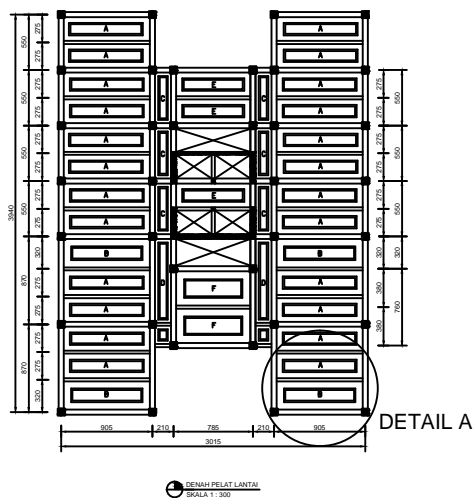
A4

JML GAMBAR

30



DENAH PELAT LANTAI
SKALA 1 : 300



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK
ANAK DAN BALOK
INDUK INTERIOR DAN
EKSTERIOR

KETERANGAN

SKALA

1:75

KERTAS

A4

NO. GAMBAR	JML GAMBAR
------------	------------

18

30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

TAMPAK ATAS TANGGA

KETERANGAN

SKALA

1:40

NO. GAMBAR

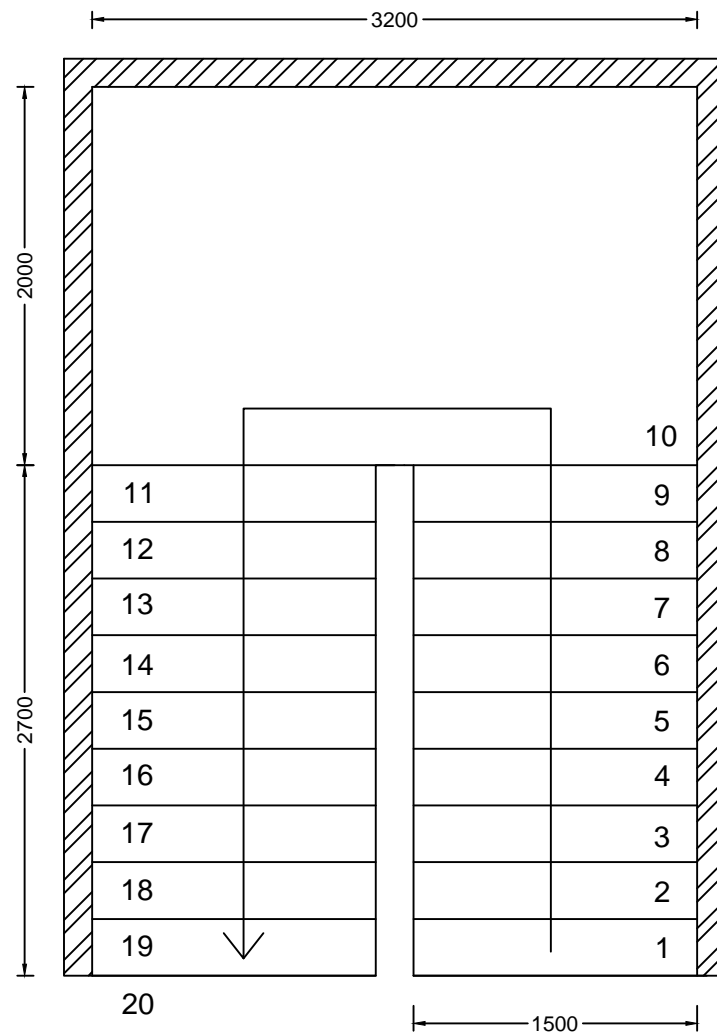
19

KERTAS

A4

JML GAMBAR

30



TAMPAK ATAS TANGGA
SKALA 1 : 40



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

PENULANGAN TANGGA

KETERANGAN

SKALA

1:30

NO. GAMBAR

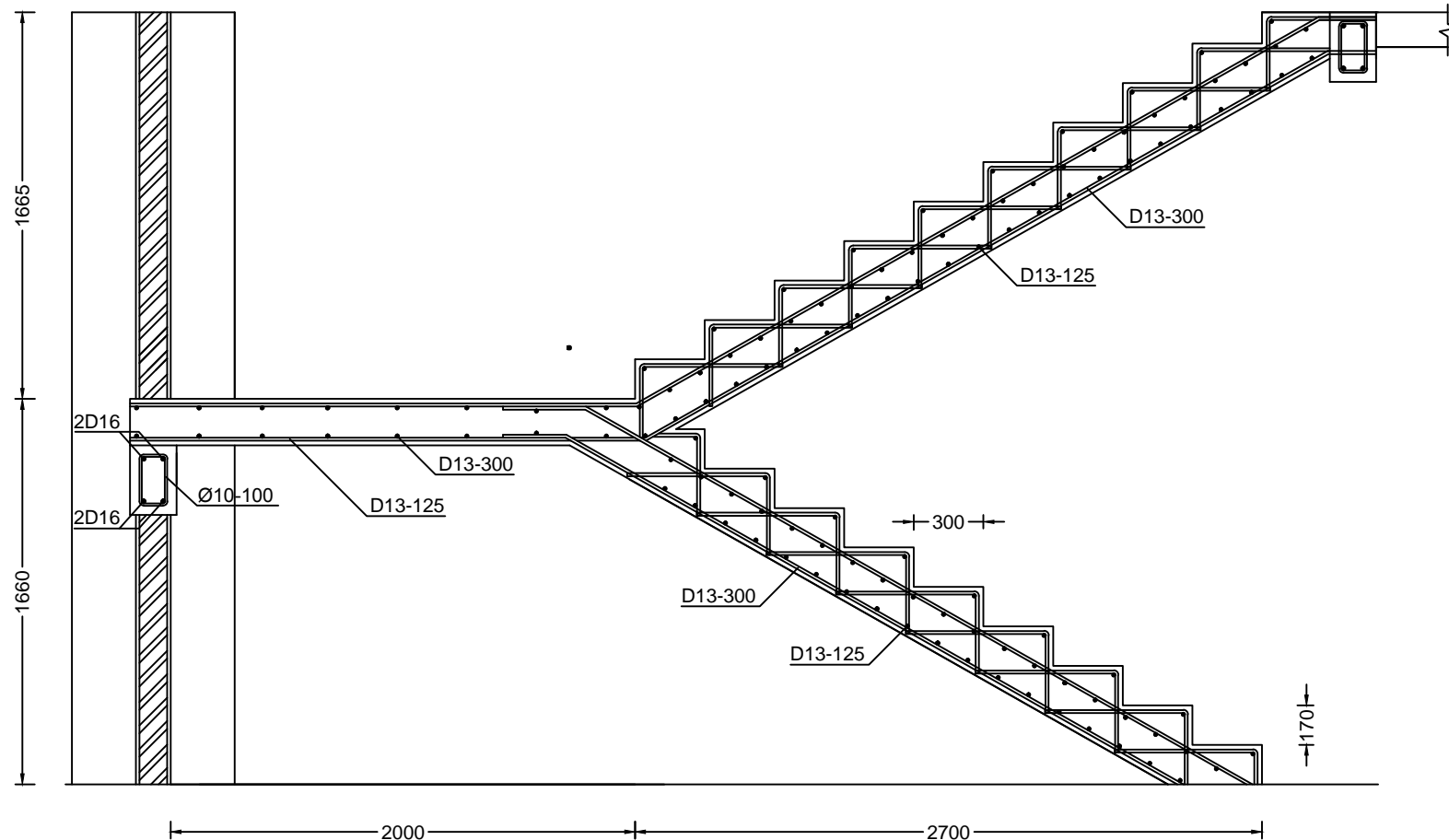
20


KERTAS

A4

JML GAMBAR

30



 PENULANGAN TANGGA
SKALA 1 : 30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

PENULANGAN DINDING
GESER ARAH X DAN
ARAHA Y

KETERANGAN

SKALA

KERTAS

1:20

A4

NO. GAMBAR

JML GAMBAR

21


30

TULANGAN VERTIKAL D13-250

TULANGAN HORIZONTAL D13-250

TULANGAN VERTIKAL D13-250

TULANGAN HORIZONTAL D13-250

 PENULANGAN DINDING GESER ARAH X
SKALA 1 : 20

 PENULANGAN DINDING GESER ARAH Y
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
KOLOM INTERIOR DAN
KOLOM EXTERIOR

KETERANGAN

SKALA

KERTAS

1:30

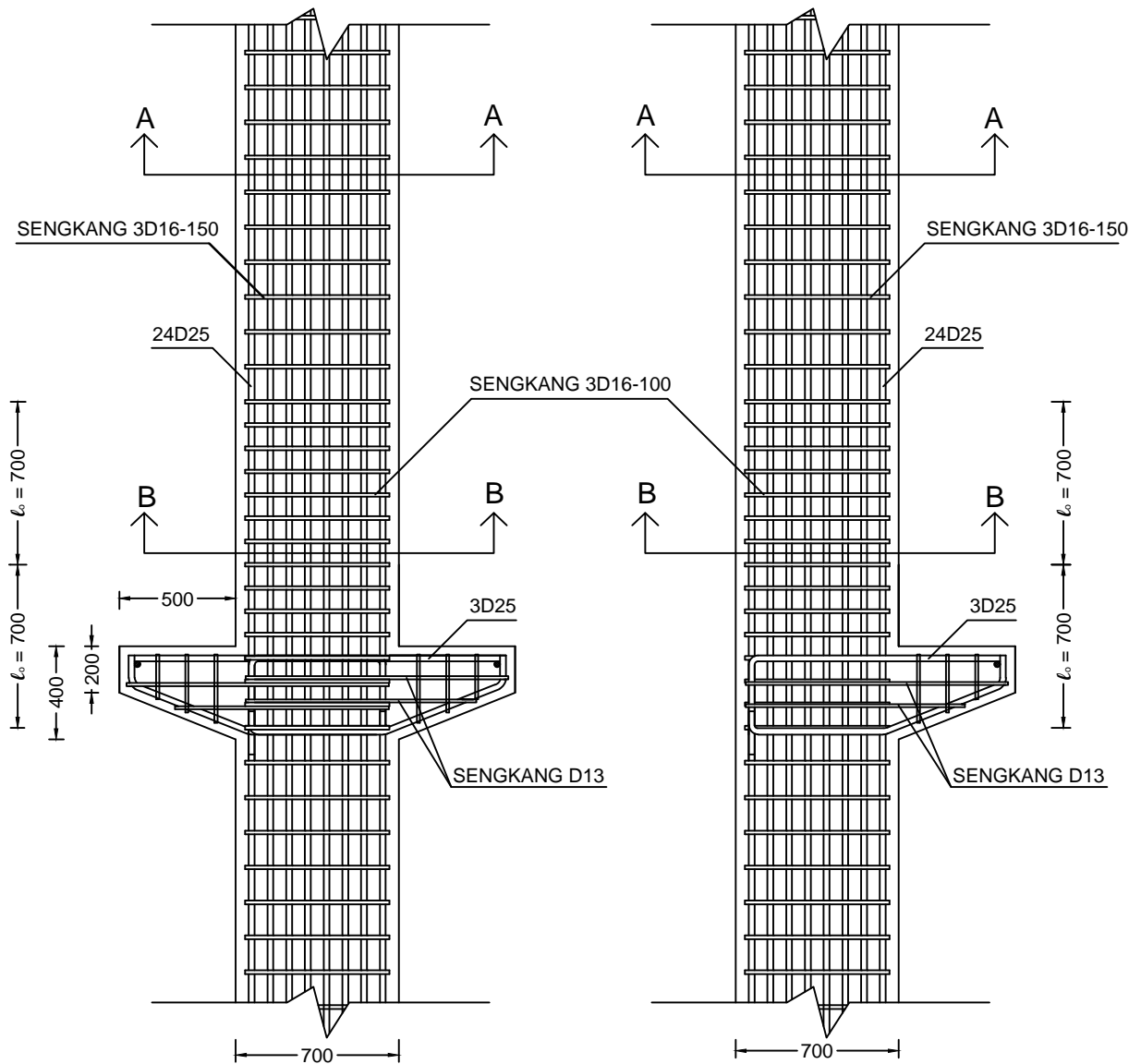
A4

NO. GAMBAR

JML GAMBAR

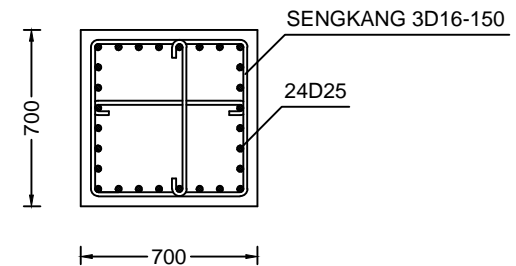
22

30

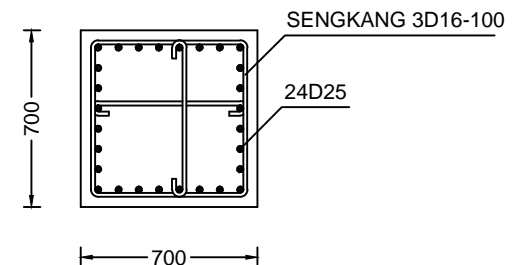


PENULANGAN KOLOM INTERIOR
SKALA 1 : 30

PENULANGAN KOLOM EXTERIOR
SKALA 1 : 30



POTONGAN A-A
SKALA 1 : 30



POTONGAN B-B
SKALA 1 : 30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

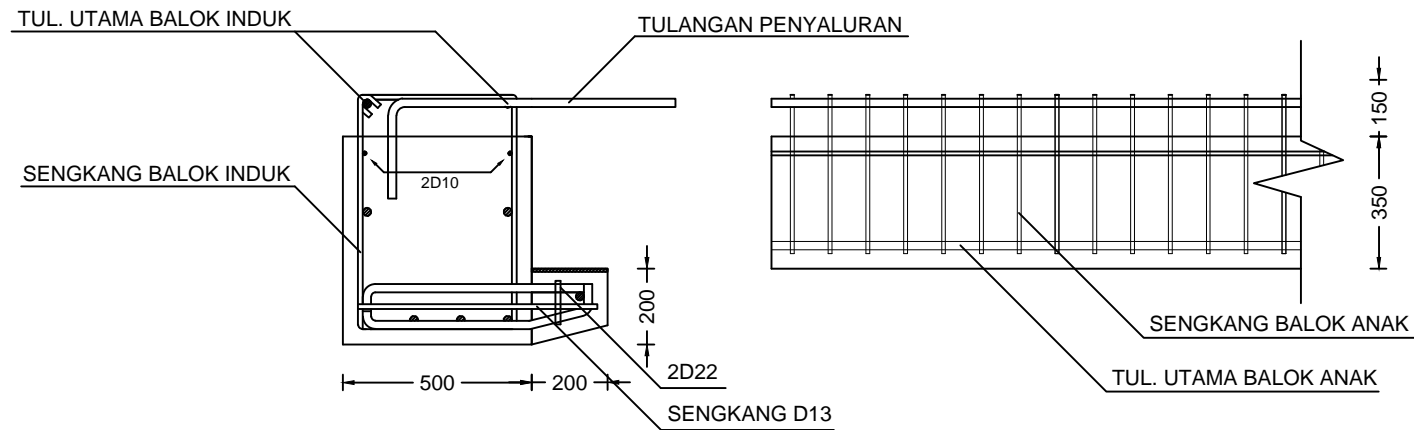
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

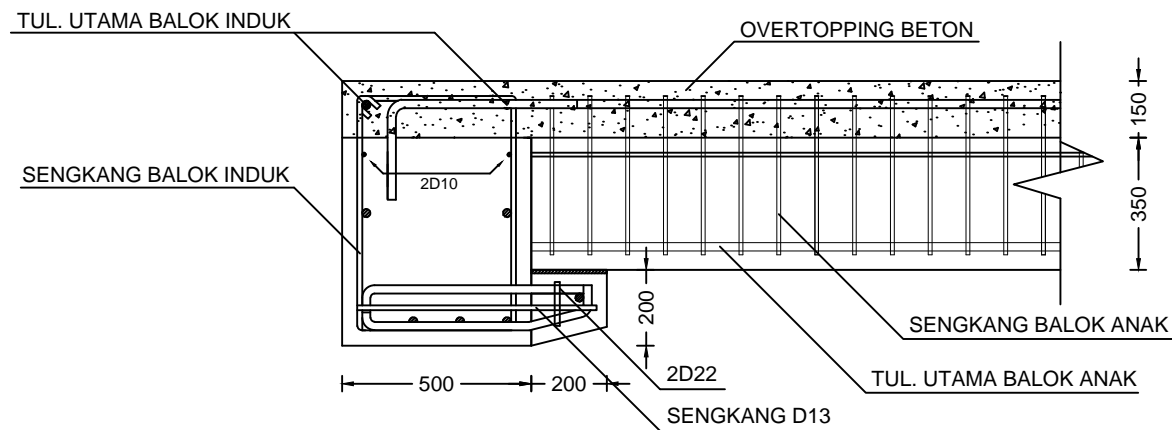
SAMBUNGAN BALOK
ANAK DAN BALOK
INDUK EKSTERIOR

KETERANGAN

SKALA	KERTAS
1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
23	30



 SAMBUNGAN BALOK ANAK DAN BALOK INDUK EKSTERIOR SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



 SAMBUNGAN BALOK ANAK DAN BALOK INDUK EKSTERIOR SETELAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

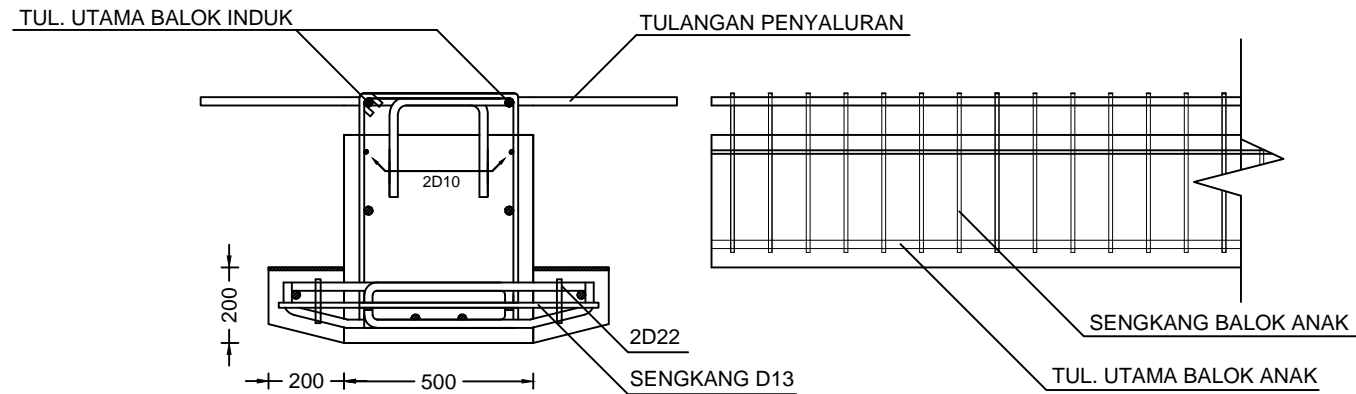
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

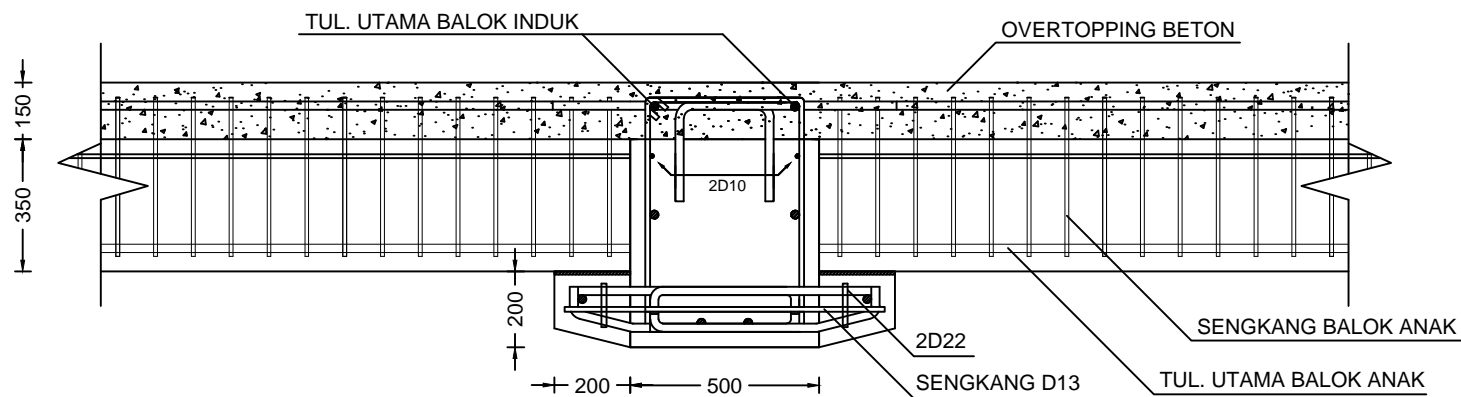
SAMBUNGAN BALOK
ANAK DAN BALOK
INDUK INTERIOR

KETERANGAN

SKALA	KERTAS
1:20	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
24	30



SAMBUNGAN BALOK ANAK DAN BALOK INDUK INTERIOR SEBELUM KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



SAMBUNGAN BALOK ANAK DAN BALOK INDUK INTERIOR SESUDAH KOMPOSIT
SKALA 1 : 20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
BALOK DAN KOLOM
EXTERIOR

KETERANGAN

SKALA

1:30

NO. GAMBAR

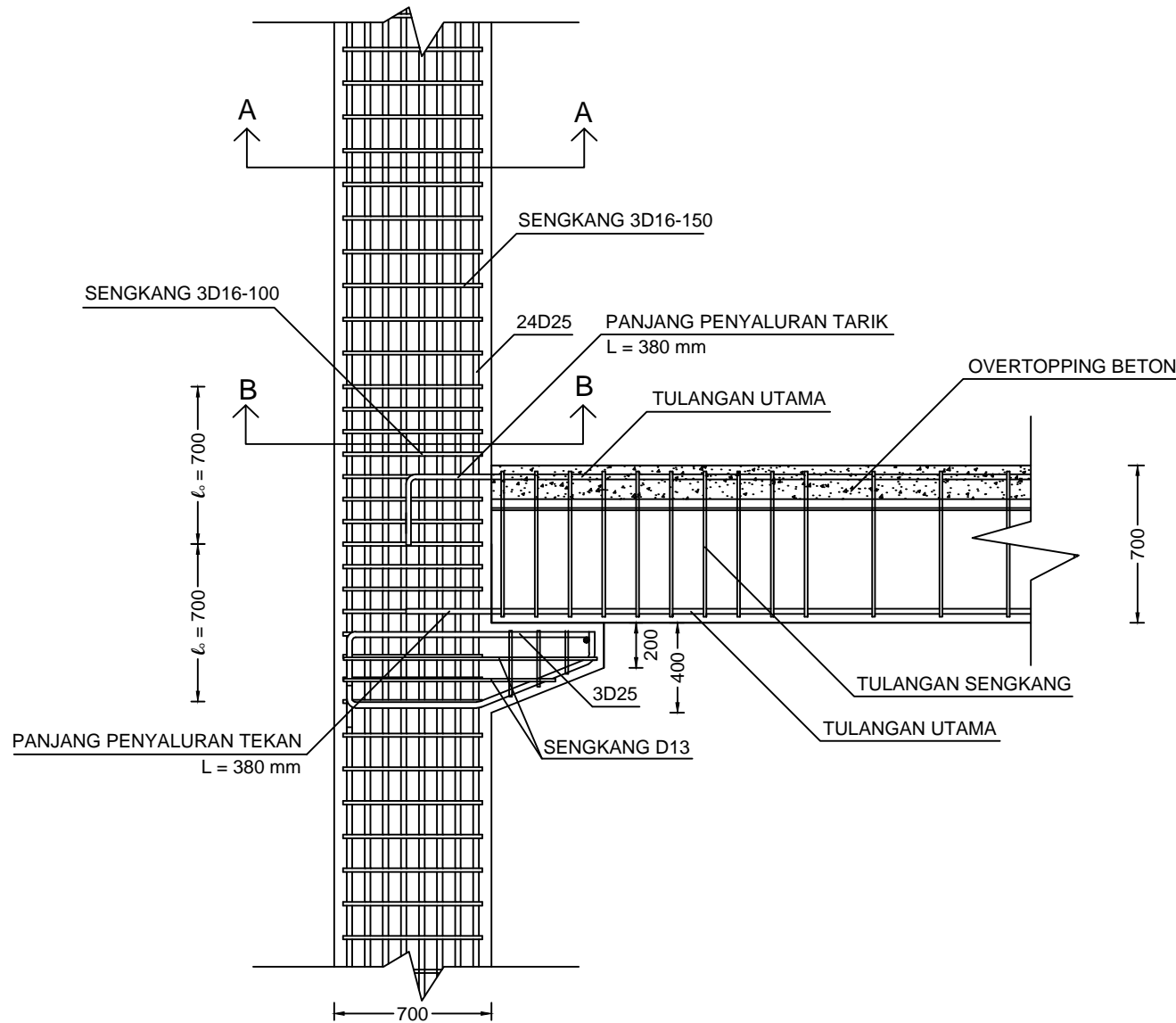
25

KERTAS

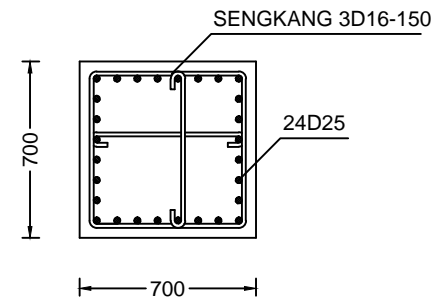
A4

JML GAMBAR

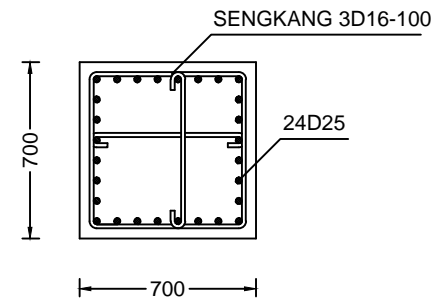
30



DETAIL SAMBUNGAN BALOK DAN KOLOM EXTERIOR
SKALA 1 : 30



POTONGAN A-A
SKALA 1 : 30



POTONGAN B-B
SKALA 1 : 30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
BALOK DAN KOLOM
INTERIOR

KETERANGAN

SKALA

1:30

NO. GAMBAR

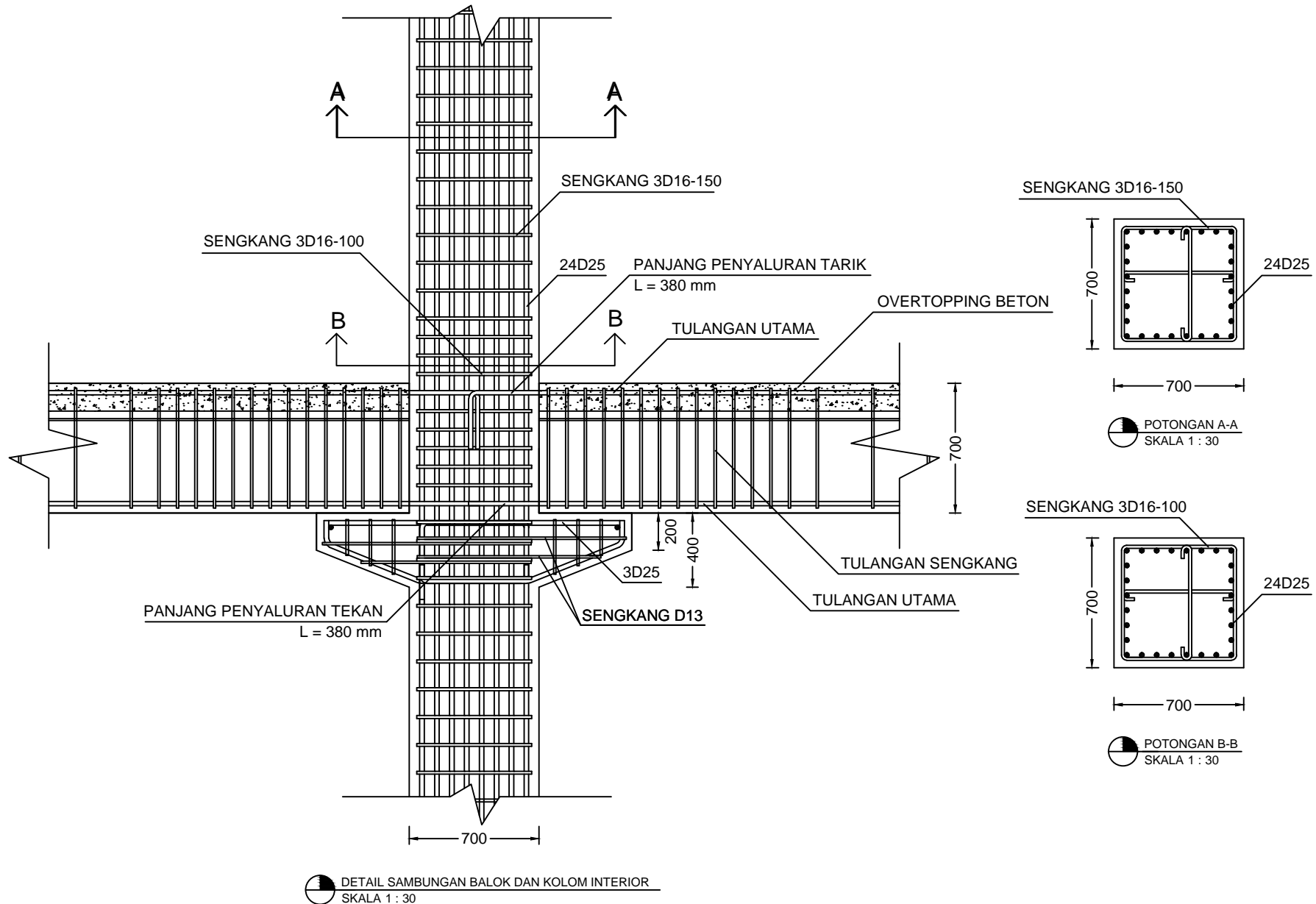
26

KERTAS

A4

JML GAMBAR

30





JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, M.Sc, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

SAMBUNGAN BALOK
DAN PELAT

KETERANGAN

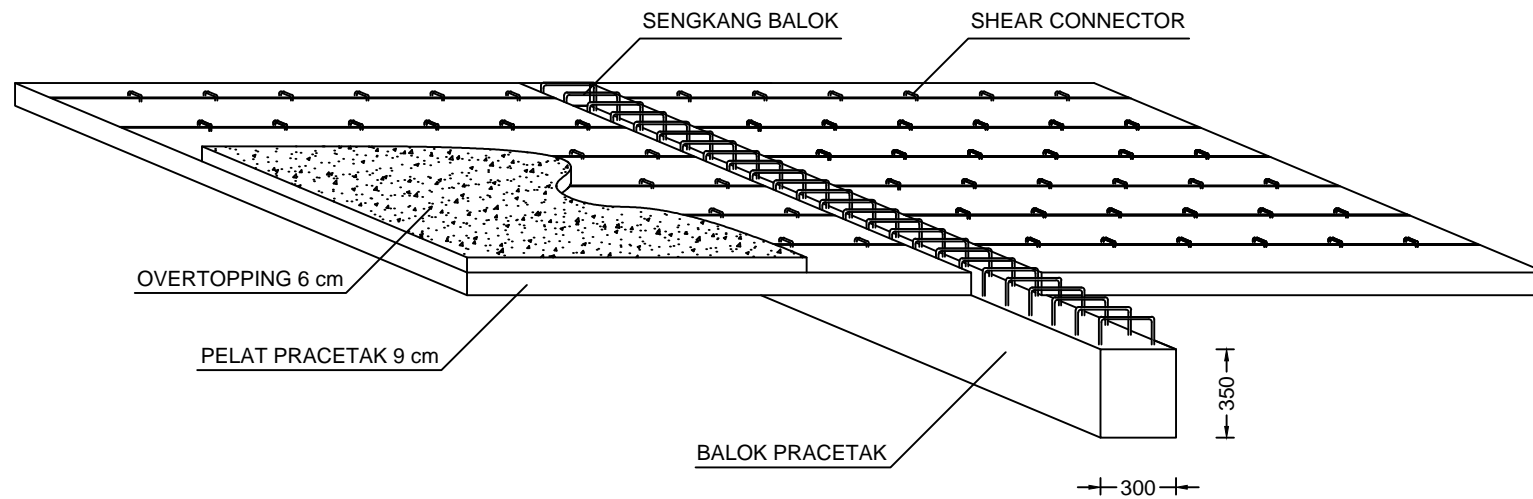
SKALA

KERTAS

A4

NO. GAMBAR

JML GAMBAR



SAMBUNGAN BALOK DAN PELAT
SKALA 1 : 30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

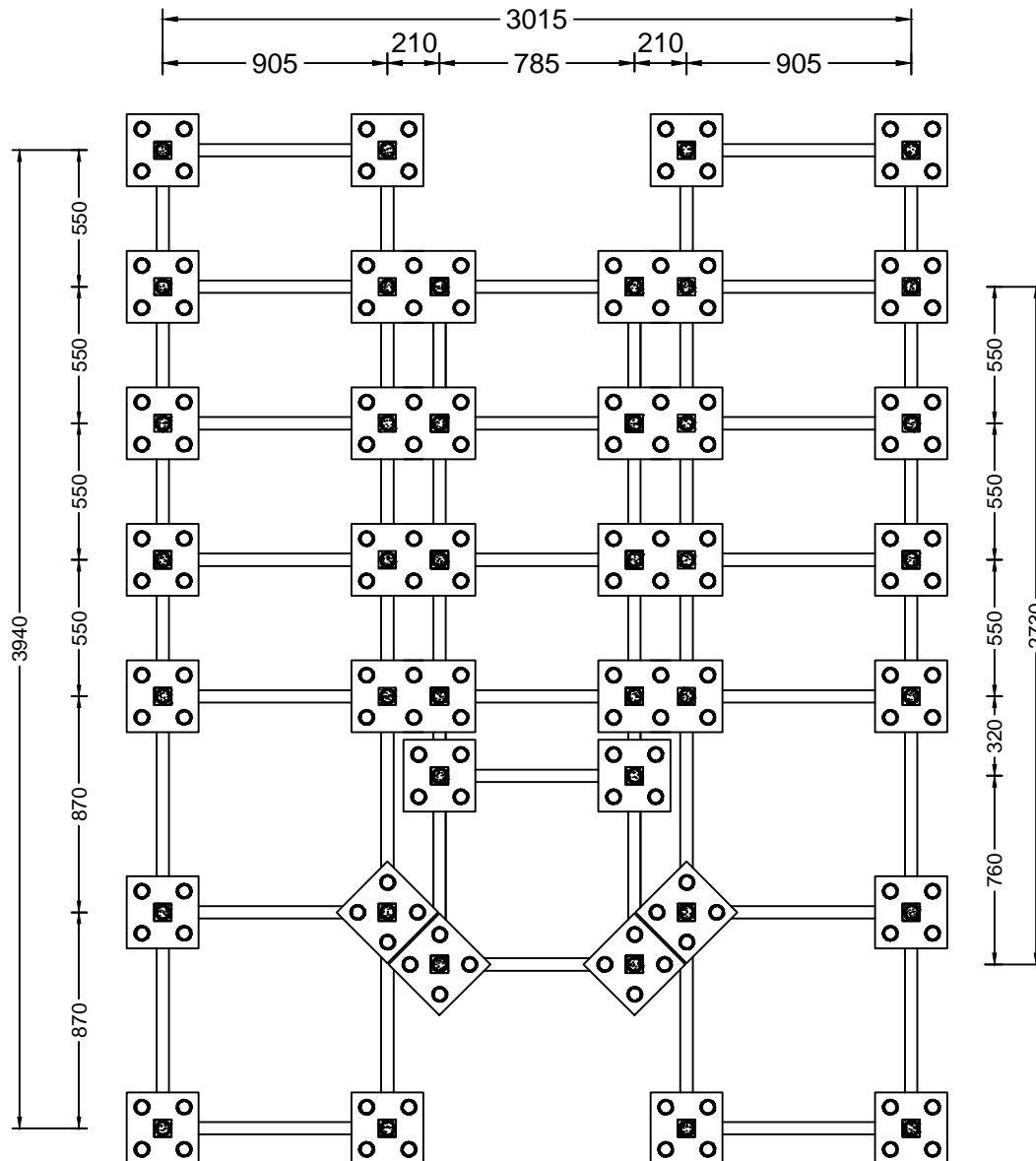
ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

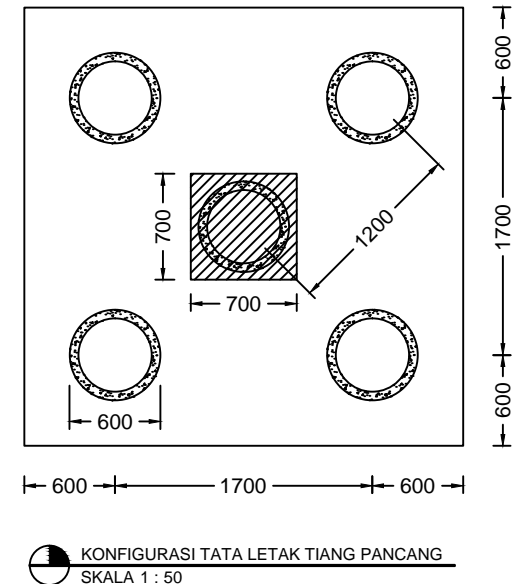
DENAH TIANG PANGCANG
DAN KONFIGURASI TATA
LETAK TIANG PANGCANG

KETERANGAN

SKALA	KERTAS
1:300 1:50	A4
NO. GAMBAR	JML GAMBAR
28	30



DENAH TIANG PANGCANG
SKALA 1 : 300



KONFIGURASI TATA LETAK TIANG PANGCANG
SKALA 1 : 50



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
GEDUNG TOWER C
APARTEMEN ASPEN ADMIRALTY
JAKARTA SELATAN
DENGAN METODE BETON
PRACETAK (PRECAST)

MAHASISWA

HABIB SYAIFUDDIN
3112100039

DOSEN PEMBIMBING I

ENDAH WAHYUNI,
ST, MT, Ph.D.

DOSEN PEMBIMBING II

ANIENDHITA RIZKI
AMALIA ST, MT.

NAMA GAMBAR

DETAIL PENULANGAN
POER

KETERANGAN

SKALA

1:40

NO. GAMBAR

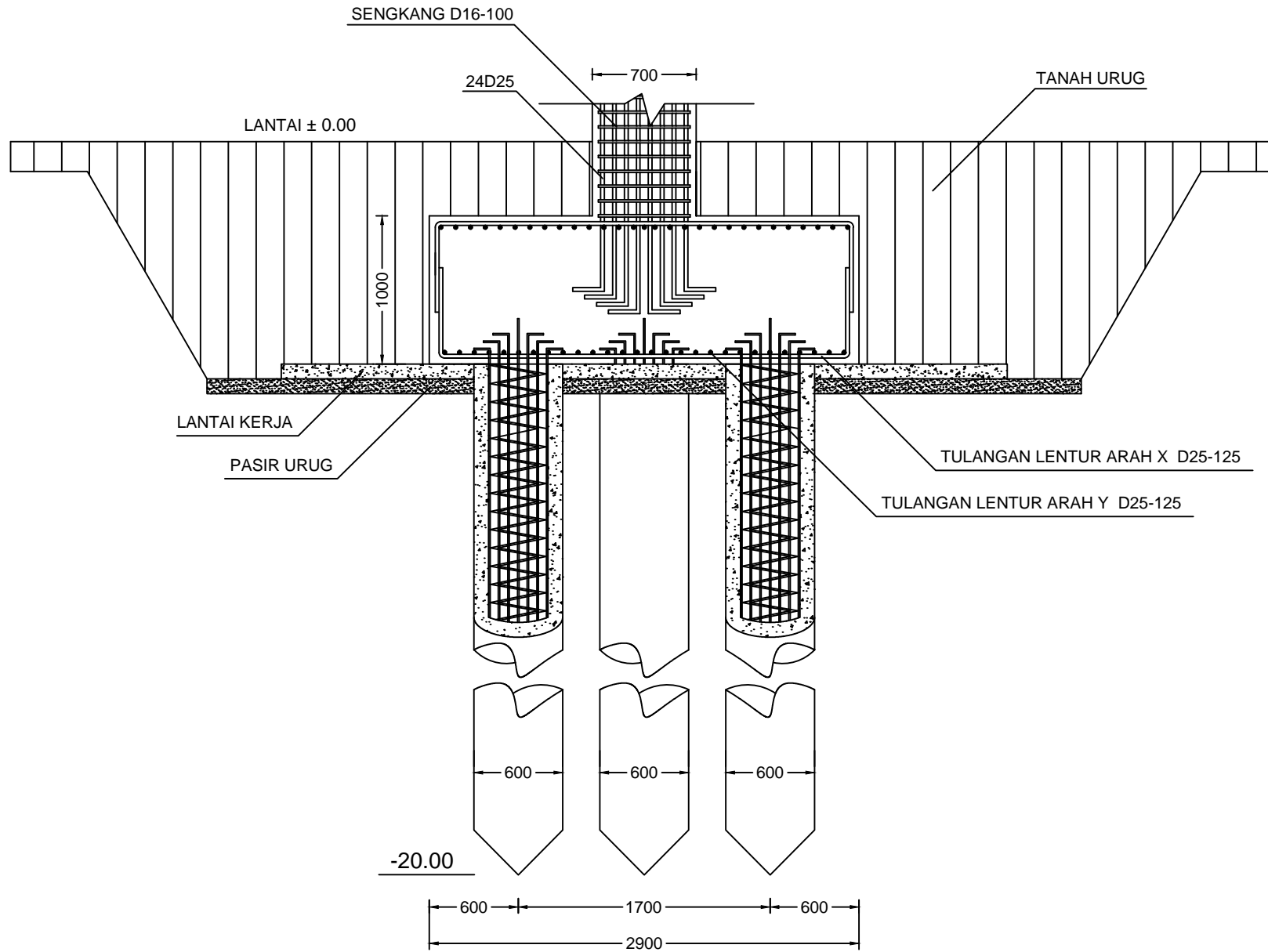
29

KERTAS

A4

JML GAMBAR

30



DETAIL PENULANGAN POER
SKALA 1 : 40

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Modifikasi Perencanaan Gedung Tower C Apartemen Aspen Admiralty Jakarta Selatan Dengan Metode Beton Pracetak (*Precast*)” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam Dimensi struktur utama didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a) dan dimensi kolom yang didapat dari perhitungan sebesar 100/100 cm. Dimensi struktur sekunder didapatkan dari SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a). Sedangkan untuk dimensi pelat digunakan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2 dengan melihat tabel 9.5(c). adapun hasil modifikasi sebagai berikut :
 - a. Struktur Sekunder
 - Dimensi balok anak = 30/50 cm
 - Dimensi balok bordes = 20/30 cm
 - Dimensi pengantung lift = 30/50 cm
 - Dimensi penumpu lift = 50/70 cm
 - Tebal pelat = 15 cm
 - b. Struktur Primer
 - Dimensi balok induk = 50/70 cm
 - Dimensi kolom = 70x70 cm
 - Pile cap = 2,9x2,9x,1 m
 - Tiang pancang = D60, H=20m
 - Tebal shear wall = 40 cm
2. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek agar bangunan tersebut menjadi bangunan pracetak yang monolit. Ukuran konsol

pendek kolom adalah 500x400 mm dan konsol pendek balok induk 200x200.

3. Detailing sambungan pracetak dirancang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan shear connector yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

5.2 Saran

Berdasarkan analisa selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah diantaranya :

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan sambungan antar elemen beton pracetak karena sambungan beton pracetak tentu tidak semonolit seperti pada sambungan dengan cor setempat agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya pengerjaan sambungan
2. Sambungan tipe elemen pracetak sedapat mungkin dibuat seminal mungkin untuk lebih menyeragamkan bentuk cetakan dan detail tulangan tulangan sehingga tujuan dari konstruksi dengan metode pracetak dapat terlaksana
3. Masih perlu lagi pengembangan teknologi Pracetak agar lebih efisien lagi dalam penggunaannya, serta lebih mudah dalam pengaplikasiannya.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut perihal pengembangan teknologi pracetak agar lebih efisien dalam penggunaannya, sehingga para pelaku dunia konstruksi lebih mudah dalam mengaplikasikan metode beton pracetak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 03-2847-2013 Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
2. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
3. Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1727-2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
4. Purwono, Rachmat . 2006. **Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa**. Surabaya : ITS Press
5. Ervianto, Wulfram. 2006. **Teknologi Pracetak dan Bekisting**. Bandung
6. PCI. Fourth Edition. **PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee.
7. Elliot, Kim S. 2002. **Precast Concrete Structure**. India: Butterwoth Heinemann.
8. Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
9. Nawy, Erdward G. 1998. **Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar** Diterjemahkan : Bambang Suryoatmono. Bandung : PT Rafika Aditama.

BIODATA PENULIS



Habib Syaifuddin

lahir di Gresik pada tanggal 06 Mei 1994, merupakan anak terakhir dari lima bersaudara pasangan Machmud Wahyudi dan Riyatun.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Nurul Huda Leran (2000-2006), MTs Nurul Huda Leran (2006-2009), dan SMK KAL-1 Surabaya (2009-2012). Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya angkatan 2012 dan terdaftar dengan

NRP 3112100039. Beberapa organisasi yang pernah ditekuni penulis yaitu Staf Departemen Dana dan Kewirausahaan HMS FTSP-ITS (2013-2014), Kepala Departemen Dana dan Kewirausahaan HMS FTSP-ITS (2014-2015). Bagi penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya merupakan suatu kesempatan yang tidak akan datang untuk kedua kalinya, sekaligus merupakan suatu kebanggaan. Penulis dapat dihubungi melalui email habibsyiaifuddin11@gmail.com